

Analyse und Vergleich der Maya-Plugins XGen und Yeti für die Erstellung und Simulation von Haaren

Vorgelegt von Lisa Ronja Lassen

an der Hochschule der Medien Stuttgart

am 23. Februar 2017

zur Erlangung des akademischen Grades eines Bachelor of Engineering

Erstprüfer: Prof. Dr. Bernhard Eberhardt

Zweitprüfer: Prof. Dr. Thomas Keppler

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Lisa Ronja Lassen, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: „Analyse und Vergleich der Maya-Plugins XGen und Yeti für die Erstellung und Simulation von Haaren“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester), § 23 Abs. 2 Master-SPO (3 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO (4 Semester und berufsbegleitend) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Kurzfassung

In der vorliegenden Bachelorarbeit werden die beiden Maya-Plugins XGen und Yeti auf die Erzeugung von Haaren hin analysiert und anschließend miteinander verglichen.

Zunächst wird eine breite Basis an Wissen zu Haaren allgemein geschaffen und erörtert, wie diese Informationen helfen maximal möglichst realistische Haare in einem 3D Programm zu kreieren, sowie welche Besonderheiten bei computergenerierten Haaren zu beachten sind. Daraufhin werden die Grundlagen der beiden Plugins in den Bereichen Grooming, Shading und Simulation erläutert und auf grundsätzliche Workflows bei der Erstellung von Haaren in XGen und Yeti eingegangen. Zuletzt werden die beiden Programme, mit besonderem Augenmerk auf die Benutzung durch Einsteiger, in den zuvor beschriebenen Punkten miteinander verglichen.

Abstract

In the following thesis the two Maya-Plugins XGen and Yeti will be analysed and compared regarding the creation of hair.

First of all, a broad basis of knowledge of hair over all will be set and it will be discussed how this information help creating hair as realisticly as possible, as well as what particularities in computergenerated hair have to be taken account of. Furthermore the fundamentals of both plugins in the fields of grooming, shading and simulation will be discussed and the essential workflows of the creation of hair in XGen and Yeti put forth. Lastly, both programs will be compared regarding the previous listed aspects with special focus on the usage through beginners.

Begriffserklärung

Alembic Cache	Aus einem 3D Programm herausgeschriebene Informationen zur Vereinfachung von Berechnungen
Brush	Tool, das durch pinsel- oder bürstenartige Bewegungen auf einem 3D Objekt angewandt wird
Bug	Programmfehler
Clump	Strähne/ durch Clumping separierter Haarteil
Clumping	Beschreibt das Aufteilen der Haare zu einzelnen Strähnen
Collection	Beherbergt in XGen verschiedene Haarsorten, die alle zu einem Objekt gehören
Corrective Groom	Zusätzlicher Groom, der das Aussehen des eigentlichen Grooms in einer bestimmten Pose korrigieren soll
Description	Beherbergt in XGen eine Haarsorte
Eumelanin	Farbstoff der Haare; bewirkt braune/ schwarze Färbung
Expressions	Kurze Abschnitte an Programmiercode, die in einem 3D Programm eingesetzt werden
Frame	Einzelbild
Groom	Begriff aus der Computeranimation für die geformten Haare auf einem Objekt. Schließt lediglich Positionierung und Formgebung mit ein, nicht aber Simulation, Shading oder Rendering
Guide	Kurve, die benutzt wird, um die Form vieler anderer Kurven in ihrer Umgebung zu definieren
Hypershade	Fenster in Maya, das die Möglichkeit bietet Shading Netzwerke aufzubauen
Keratin	Größter Bestandteil von Haaren
keyen/ einen Key setzen	Festsetzung der Position/ Form eines Objektes zu einem bestimmten Zeitpunkt. Mehrere Keyframes können eine Animation ergeben.
Map	Textur, die auf einem 3D Objekt liegt
Maya nHair	System zur Erstellung und Simulation von Haaren innerhalb von Maya
Melanin	Farbstoff der Haare
Melanozyt	Pigmentzelle des Menschen, produziert Melanin
Mesh	Polygonnetz
Modeln	Begriff aus der Computeranimation für das Erstellen eines 3D-Modells; zu deutsch: modellieren

Modifier	Verändert das Aussehen und Verhalten von Haaren in XGen
Node	Knotenpunkt
Node Tree	Mehrere miteinander verknüpfte Knotenpunkte
Outliner	Fenster in Maya, das eine hierarchische Liste aller Objekte in der Szene zeigt
Permeabel	Durchlässig
Phäomelanin	Farbstoff der Haare; bewirkt rötliche Färbung
Pipeline	Beschreibt die Schritte, die nötig sind, um eine Computeranimation zu erstellen
Primitive	Elementares, geometrisches Grundobjekt; zum Beispiel eine Kugel oder viereckige Fläche
Ptex	Mappingsystem für Texturen, dass ohne UV's auskommt; entwickelt von Disney
Renderer	Programm zur Berechnung eines Bildes aus einer 3D Szene
Sculpting	Manipulieren eines 3D Objektes mit Werkzeugen ähnlich der Bildhauerei
Shading	Bestimmung von Oberflächeneigenschaften eines Objektes in der 3D-Computergrafik
Shot	Kameraaufnahme, Einstellung
Spline	Kurve, die aus einer Folge von Punkten definiert wird
Time Slider	Zeitschieberegler
Umgebungsvariable	Konfigurierbare Variable in einem Betriebssystem, die oft Pfade zu bestimmten Programmen enthalten
UV's	UV-Koordinatensystem zur Erzeugung eines 2D Bildes aus einem 3D Objekt
Viewport	Ansichtsbereich in einem Grafikprogramm
Workflow	Arbeitsablauf

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
1.1 Stand der Technik.....	1
1.2 Ziele.....	1
2 Haareigenschaften.....	2
2.1 Funktion von Haaren.....	2
2.2 Haaranzahl.....	3
2.3 Haarwachstum.....	4
2.4 Haarfarbe	5
2.5 Haartextur.....	7
2.6 Clumping.....	8
2.7 Haarzustand.....	9
2.8 Probleme in der Computeranimation.....	11
2.9 Besonderheiten verschiedener Arten von Haaren und Sonderformen.....	12
3 XGen.....	13
3.1 Grooming.....	13
3.1.1 Descriptions & Collections Workflow.....	13
3.1.2 Splines & Groomable Splines.....	14
3.1.3 Modifier.....	17
3.1.4 Tube Groom.....	19
3.1.5 Interactive Grooming Tools.....	22
3.2 Shading.....	24
3.3 Simulation.....	26
3.3.1 Herangehensweisen.....	26
3.3.2 Einstellung des nHair-Systems.....	27
3.3.3 Verbindung des dynamischen Haarsystems mit XGen.....	30
4 Yeti.....	31
4.1 Grooming.....	31
4.1.1 Clumping.....	34
4.2 Shading.....	37
4.3 Simulation.....	38
5 Vergleich.....	40
5.1 Workflow.....	40
5.2 Grooming.....	41
5.3 Shading.....	42
5.4 Simulation.....	42

5.5 Anbindung.....	43
5.6 Frustrationspotential.....	43
5.7 Weiterbildung.....	45
6 Zusammenfassung und Fazit.....	46
Abbildungsverzeichnis.....	47
Tabellenverzeichnis.....	49
Quellenverzeichnis.....	50

1 Einleitung

1.1 Stand der Technik

In den letzten Jahren gab es in der Computeranimation eine gewaltige Zunahme an behaarten Charakteren auf der Leinwand zu sehen. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass in der Vergangenheit Haare, wenn möglich, vermieden wurden. Schließlich war es schlicht nicht möglich, extreme Mengen an Geometrie, wie sie für Haare nötig sind, zu erstellen und zu rendern. Inzwischen ist die Technik jedoch an einem Punkt angelangt, an dem Animationsfilme ohne Probleme hunderte behaarte Charaktere in einem Shot beinhalten können.

Mit diesen Möglichkeiten ist allerdings auch die Anzahl an Applikationen für die Erstellung von Haaren im 3D-Raum stetig gewachsen, sodass heute viele verschiedene Programme und Plugins zur Auswahl stehen. Diese sind jedoch sehr unterschiedlich in Funktionsweise und Resultat, weshalb hier zwei führende Plugins für Autodesk Maya untersucht und miteinander verglichen werden.

Das erste ist XGen, ein Plugin das von Disney entwickelt wurde und in Maya bereits kostenlos integriert ist; das zweite Plugin nennt sich Yeti, wird von Peregrine Labs entwickelt und ist kostenpflichtig.

1.2 Ziele

Ziel dieser Arbeit ist es, herauszustellen, was Haare ausmacht und wie sie in der Computeranimation erzeugt werden können. Dazu werden zwei Plugins für das Programm Maya, mit denen sich Haare erzeugen und simulieren lassen, miteinander verglichen. Die Arbeit soll ein allgemeines, fundiertes Wissen über Haare vermitteln und darüber hinaus die Vor- und Nachteile beider Applikationen herausstellen. Zusätzlich soll die Arbeit aufzeigen, für welche Aufgabe sich welche der Applikationen besser eignet. Gerade Anfängern soll die Möglichkeit gegeben werden, eine fundierte Entscheidung für das eine oder andere Programm treffen zu können.

2 Haareigenschaften

Um computergenerierte Haare zu erstellen, ist es notwendig, sich zunächst damit auseinanderzusetzen, wie sich Haare in der Realität verhalten. Um ein herausragendes Ergebnis zu ermöglichen, ist es wichtig von Anfang an im Prozess der Haarerstellung zu wissen, welche Art Haare generiert werden sollen und was genau deren Eigenschaften sind. Im Folgenden wurden einige Merkmale von Haaren näher inspiziert und diese auf ihre Relevanz in der Computeranimation hin untersucht.

2.1 Funktion von Haaren

Der Mensch ist überall auf seinem Körper, bis auf den Handflächen, Fußsohlen und Lippen, behaart. Ein Großteil dieser Haare sind aber so dünn, kurz und spärlich verteilt, dass wir sie kaum wahrnehmen.

Die Haare des Menschen haben jedoch einen Großteil ihrer eigentlichen Funktionen verloren, während diese bei Tieren noch voll aktiv sind. Die wichtigste verbliebene Funktion der menschlichen Haare ist heutzutage die der sozialen Kommunikation [SP01]. Haare dienen dem Ausdruck der Persönlichkeit, viele Kulturen auf der ganzen Welt haben bestimmte Traditionen bezüglich Kopfhaar. Lange Haare, als ein Zeichen von Stärke und Macht, werden zum Beispiel auch in der beliebten HBO Serie „Game Of Thrones“ aufgefasst, in der es den Stamm der „Dothraki“ gibt, die sich nur dann die Haare abschneiden, wenn sie einen Kampf verlieren. Haarentfernung oder Bedeckung dagegen hat eine starke depersonalisierende Wirkung, wie das Rasieren der Köpfe von Mönchen oder Verdecken der Haare mithilfe eines Kopftuchs [Rano8]. Wegen dieser Möglichkeit zur Identifikation über Haare, hat sich der Mensch eine Vielzahl von Möglichkeiten zu deren Veränderung ausgedacht: Von künstlichen Haarfarben über Stylingprodukte bis hin zu unterschiedlichsten Frisuren.

Grundlage zur Gestaltung von Kopfhaar eines computergenerierten Menschen, sind damit zunächst Überlegungen, was dieser Charakter mit seinen Haaren ausdrücken möchte und welche Haare zu ihm passen.

Bei Tieren hingegen hat das Fell eine ganz andere Bedeutung. Es dient der Wärmedämmung, der Tarnung, als Erweiterung des Tastsinns, beispielsweise bei Schnurrhaaren, und kann sich je nach Jahreszeit drastisch verändern [SWP05]. Je nach Sinn und Zweck der Haare verändert sich ihr Aussehen stark. Es lässt sich zum Beispiel in der Eislandschaft der Antarktis kein schwarzer Hase antreffen oder in einem schwülen Dschungel ein Tiger mit einem dichten, langen Winterfell.

Um die Glaubwürdigkeit eines tierartigen Charakters zu garantieren, muss sein Fell deshalb auf dessen Umgebung und den Nutzen angepasst werden.

2.2 Haaranzahl



Abbildung 1: Verschiedene behaarte Charaktere aus dem Disney Film „Zootopia“

Die Anzahl an Haare, die ein Mensch auf dem Kopf hat, hängt stark von der Ethnie, der Haarfarbe und dem Alter ab. Der Durchschnittswert liegt dabei bei circa 100 000 Haaren auf der Kopfhaut [Robo2]. Bei blonden Haaren liegt dieser Wert jedoch sehr viel höher, bei ca. 150 000 Haaren, während Menschen mit roten Haaren etwa 90 000 Haare aufweisen. Braune bis schwarze Haare gehen meist mit 100 000 – 110 000 Haaren einher. Auf den ganzen Körper verteilt, besitzt der Mensch bis zu 5 Millionen Haarfollikel. [Bau14]

Diese Zahlen ergeben einen guten Ausgangspunkt für das Erstellen von computergenerierten Haaren, doch oftmals werden sie stark überschritten, um das Haar voller wirken zu lassen. In **Tabelle 1** ist die verwendete Anzahl an Haaren für einzelne Charaktere aus Animationsfilmen aufgelistet. Je nachdem wie klein oder groß der Charakter ist, ob es sich um einen Menschen oder um ein Tier handelt, fallen diese Werte unterschiedlich aus. So gibt es in dem Animationsfilm „Zootopia“ Größenunterschiede von einer winzigen Maus zu einer riesigen Giraffe, mit jeweils sehr unterschiedlicher Anzahl an Haaren (siehe **Abbildung 1** und **Tabelle 1**). Es wird jedoch deutlich, dass in den letzten Jahren immer größere Mengen von Haaren möglich geworden sind. Beispielsweise hat sich die Haaranzahl bei dem Charakter „Sully“ innerhalb einer Dekade verfünffacht.

Tabelle 1: Haaranzahl von Charakteren aus computergenerierten Filmen

Charakter	Film	Erscheinungsjahr	Haaranzahl
Giraffe	Zootopia	2016	9. 000. 000
Hopps (Hase)	Zootopia	2016	2. 500. 000
Wilde (Fuchs)	Zootopia	2016	2. 500. 000
Maus	Zootopia	2016	480. 000
Elsa (Mensch)	Frozen	2013	400. 000
Sully (Monster)	Monsters University	2013	5. 400. 000
Merida (Mensch)	Brave	2012	111. 000
Angus (Pferd)	Brave	2012	1. 800. 000
Sully (Monster)	Monsters, Inc.	2001	1. 000. 000

2.3 Haarwachstum

Haare wurzeln in Haarfollikeln. Diese obliegen einem zyklischen Mechanismus: Sie durchlaufen immer wieder drei Phasen namens Anagen (Wachstum), Katagen (Ruhe) und Telogen (Abstoßung) [SP01]. Beim Menschen folgt jeder Follikel seinem eigenen Zyklus und läuft zeitlich versetzt zu seinen benachbarten Follikeln ab. Das bedeutet, dass sich stets Haare in jeder der drei Phasen befinden und kontinuierlich Haare ausfallen und nachwachsen. [Cha54]

Beim Durchlaufen dieser Phasen können Haare auch nicht unendlich lang werden, da sie früher oder später abgestoßen werden, damit neue Haare wachsen können. Normalerweise wachsen Kopfhare vom Menschen bis zu einer Länge von 90cm, es kann aber auch Fälle von bis zu 150cm geben [Robo2], der offizielle Weltrekord liegt bei 562cm [Gui04]. Haare mit einer Länge von 2100cm, wie bei Rapunzel aus dem Disney Film „Tangled“ [WKM10], sind nicht realistisch und nur in der Computeranimation realisierbar (siehe **Abbildung 2**).

Bei den meisten Tieren hingegen läuft der Haarwachstumszyklus synchronisiert nach den Jahreszeiten ab, um einen Wechsel von Winter- zu Sommerfell zu ermöglichen [Cha54]. Im Sommer handelt es sich dabei um ein liches Fell mit groben Haaren, während es im Winter sehr viel feiner und dichter wird und zudem seine Färbung wechseln kann [Joh72]. Daher muss bei einem computergenerierten, behaarten Tier auch geklärt werden, ob es ein unterschiedliches Winter- und Sommerfell besitzt und wenn ja, welches erstellen werden soll.

Zudem entwickeln sich Haare auch im Laufe des Erwachsenwerdens. In der Kindheit hat der Mensch hauptsächlich Haare mit schützender Funktion wie Wimpern, Augenbrauen und Kopfhare. Außerdem

wechselt sich ein Großteil der Vellushaare – sehr feine, dünne Haaren – im Lauf der Zeit zu Terminalhaar: dickeres und stärker pigmentiertes Haar [Rano8]. Beim Mann wird dabei jedoch sehr viel mehr Vellushaar während der Pubertät in Terminalhaar umgewandelt, als bei der Frau. Im Alter dagegen werden die Haare wieder feiner und entwickeln sich wieder zu Vellushaaren zurück [Robo2].



Abbildung 2: Unnatürlich lange Haare bei dem Disney Charakter Rapunzel

2.4 Haarfarbe

Die Pigmentierung von Haaren kommt durch den Wirkstoff Melanin zustande. Melanin lässt sich in mehrere Kategorien unterteilen: Phäomelanin für rotes Haar und Eumelanin für eine dunkle Färbung, wobei sich Eumelanin nochmals in schwarzes und braunes Eumelanin unterscheiden lässt [Robo2].

Blonde Haare weisen nur geringe Mengen an Eumelanin und Phäomelanin auf. Rote Haare haben wenig Eumelanin aber viel Phäomelanin, und braune bis schwarze Haare bilden sich bei einer hohen Dosierung von Eumelanin, oder auch von beiden Bestandteilen. Weiße Haare kommen jedoch nur vor, wenn weder Eumelanin noch Phäomelanin vorhanden ist. [SWP05]

Es ist möglich, mehr als nur eine Farbe an Haaren auf dem Körper haben. Tatsächlich variiert diese bei jedem Follikel. Dadurch kommt es zu einer natürlichen Variation der Haarfarbe – vollkommen einheitlich farbige Haare kommen normalerweise nur durch das künstliche Färben von Haaren zustande. Oft gibt es außerdem einen enormen Unterschied der Haarfarbe in verschiedenen Bereichen. Gerade die Differenz in der

Kopfhaarfarbe zu der Färbung von Barthaaren bei Männern sticht häufig stark heraus. Außerdem sind Wimpern, Augenbrauen und Schamhaare meist dunkler als das Kopfhaar. [LLA96]

Bei vielen Tieren sind solche Farbwechsel die Regel und sogar noch sehr viel stärker ausgeprägt, mit Übergängen die abrupt von schwarz zu weiß wechseln können, wie bei einer fleckigen Kuh oder einem Gepard (siehe **Abbildung 3**). Diese Muster dienen meist zur Tarnung der Tiere in ihrem nativen Lebensraum.



Abbildung 3: Referenzbilder von verschiedenen Fellarten für den Film „Zootopia“

Eine Änderung der Haarfarbe über die Zeit findet meist nur nach einem abgeschlossenen Wachstumszyklus statt, wenn das Melanozyt, in dem das Melanin produziert wird, abgestorben ist. Dadurch entsteht dann im nächsten Zyklus ein Haar mit einer anderen Farbe. Die Pigmentierung kann sich allerdings auch während der Wachstumsphase ändern, so entsteht ein mehrfarbiges Haar. Dieser Effekt kommt zustande, wenn sich Veränderungen im Melanozyt über eine oder sogar mehrere Wachstumsphasen hinwegziehen, was einen mehr oder weniger intensiven Farbverlauf entlang des Haares zur Folge hat. [SWP05]

Vor allem das Verdunkeln von blonden Haaren während der Kindheit und Jugend ist ein sehr häufiges Phänomen, weshalb der Anteil an Erwachsenen mit blonden Haaren gering ist. Dies ist ein langwieriger und homogener Prozess der sich über viele Jahre hinwegzieht. Beim Ergrauen durch Altern kommt häufiger sogenanntes „Salz- und Pfefferhaar“ zustande, da immer mehr einzelne Haare komplett ihre Farbe ändern. Allerdings können Haare auch durch äußere Einflüsse ihre Farbe wechseln. Hellbraune Haare wirken durch Sonnenausbleichung an den Enden auf dem Deckhaar schon oft blond, während näher an der Kopfhaut ein kräftigeres Braun vorherrscht.

Auch die Transparenz der Haare hat einen starken Einfluss auf die Haarfarbe. Haare können sehr unterschiedlich durchsichtig sein. Ein Honigdachs z.B. hat weißes Fell, welches sehr undurchsichtig ist, während das weiße Fell eines Eisbären fast transparent ist, aber durch das Licht weiß wirkt. [Fai16]

Deshalb ist es wichtig, vor der Replikation am Computer die Haare gründlich zu studieren.

2.5 Haartextur

Haare sind sehr dünne, leicht elliptische Röhren, die sich leicht verbiegen und verdrehen, aber sich nicht dehnen lassen. Sie können glatt, wellig oder gelockt sein und begeben sich nach Krafteinwirkung immer in ihre Ausgangsposition zurück. [BAQ05]

Das Aussehen der Haare wird dabei von den Haarfollikeln bestimmt [SP01]. Es wird zwischen vielen verschiedenen Arten von Haaren differenziert: Von groben Deckhaaren bis zu feiner Wolle finden sich die unterschiedlichsten Haare auf ein und demselben Körper. Lediglich wenige Tierarten sind davon ausgenommen, beispielsweise das Merinoschaf, dessen Züchtung auf eine Reduktion auf eine Art Haare abzieht: Sehr feine Wolle. [Joh72]

Haare können bei einem ausgewachsenen Menschen eine Dicke von 0,04 mm bis 0,12 mm aufweisen, was je nach Herkunft stark variieren kann. So haben Menschen kaukasischer Herkunft meist eine Haardicke von rund 0,07 mm, während die Haare von Menschen afrikanischer Herkunft eher dicker sind. Kinder dagegen haben sehr feine Haare – im Alter von 2 Jahren mit ca. 0,03 mm Dicke. [Robo2]

Je runder der Querschnitt der Haare dabei ist, desto glatter sind die Haare dabei in der Regel auch. In **Tabelle 2** lässt sich der Zusammenhang zwischen Querschnittsform und Lockenbildung von Haaren erkennen. Der asiatische Typ hat meist einen sehr runden Haarquerschnitt und damit besonders glatte Haare, Menschen afrikanischer Herkunft dagegen weisen aufgrund ihres oft stark elliptischen Haarquerschnitt oftmals kleine, starke Locken auf. [Robo2]

Tabelle 2: Haartextur bei Menschen verschiedener Herkunft

Herkunft	Dicke	Form	Querschnittsform
Kaukasisch	Fein	Glatt bis lockig	Fast rund bis leicht oval
Afrikanisch	Grob	Wellig bis wollartig	Leicht oval bis elliptisch
Asiatisch	Grob	Glatt bis wellig	Fast rund bis leicht oval

Da der variierende Querschnitt nur einen indirekten Einfluss auf die Formgebung der Haare hat, ist diese Information wenig relevant für die Computeranimation. Um so realistische Haare wie möglich zu erstellen, können diese bei lockigen Haaren zusätzlich abgeflacht werden; allerdings sind Haare so dünn, dass dieser Unterschied für das bloße Auge nicht sichtbar ist. Es empfiehlt sich daher bei runden Röhren zu bleiben.

2.6 Clumping

Clumping beschreibt das Gruppieren von Haaren zu einzelnen Strähnen und ist essentiell, damit das Haar realistisch wirkt. Bei längeren Haaren kommt es zu größeren Gruppierungen, während kürzere Haare dünnere Strähnen bilden. Bei Frisuren, die verschiedene Haarlängen beinhalten, sollten die Clumps variiert werden. Gerade bei stark ausgeprägten Locken ist Clumping sehr offensichtlich, da sich eine Locke aus einer Haarsträhne bildet. Glatte Haare dagegen bilden deutlich schwächere Strähnen aus und vor allem häufiges Kämmen der Haare wirkt der Strähnenbildung entgegen, da die Haare auseinander gezogen und gleichmäßig verteilt werden. [Cau16]

Weiterhin haben die Zustände nass, trocken oder ölig einen Einfluss auf die Bildung von Clumping. Wenn die Haare nass oder fettig sind, bilden sich deutlichere Strähnen (siehe auch: Kapitel 2.7 Haarzustand). [WGL04]

Allerdings sollte es nicht nur eine Clumping Ebene in einer computergenerierten Frisur geben, sondern mehrere hierarchisch aufgebaute: Von den größten Clumps, über dickere Strähnen, hin zu sehr feinen Haargruppierungen. Zusätzlich sind abstehende Haare, die von den Clumps nicht beeinflusst werden, unabdingbar, um das Haar natürlich wirken zu lassen.

In der **Abbildung 4** ist eine Anordnung von drei hierarchisch angeordneten Clumping Ebenen dargestellt sowie einer Ebene mit abstehenden Haaren. Dabei müssen zunächst Punkte definiert werden, welche die Position der Clumps der ersten Ebene angeben. Die Haare der untergeordneten Clumping Ebenen sollten dabei immer mehr Clumps aufweisen, als die übergeordneten Ebenen. In der **Abbildung 4** sind die Haare der Clumping Ebene 3 lediglich zur Übersichtlichkeit kürzer gehalten, als die anderen Haare.

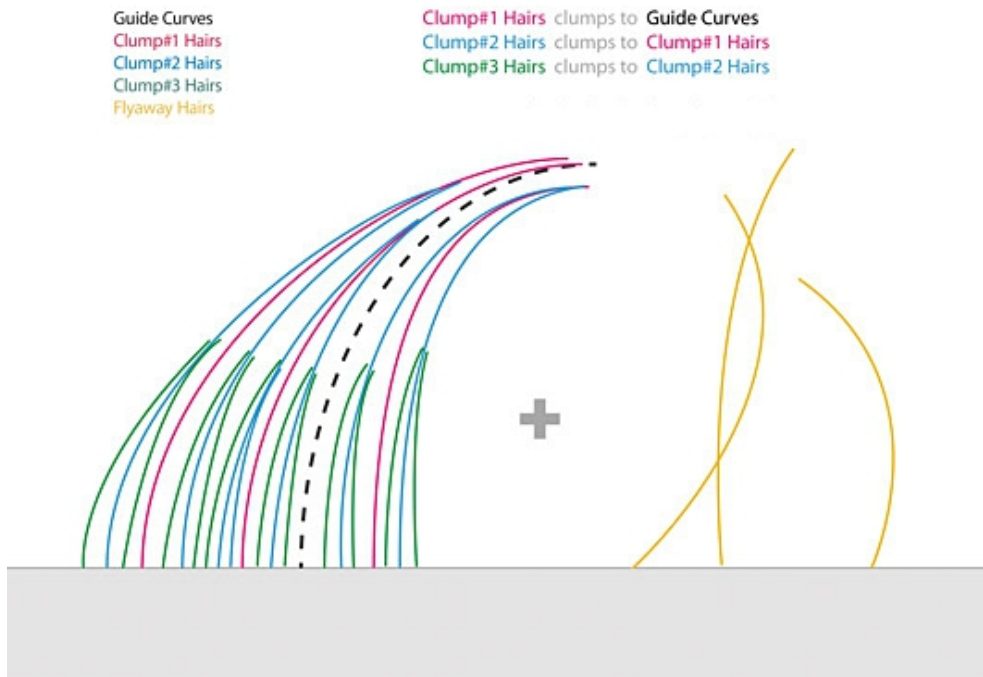


Abbildung 4: Schematische Darstellung von Clumping mit mehreren Ebenen

2.7 Haarzustand

Selbst die Haare einer Person können abhängig von ihrem Zustand stets unterschiedlich aussehen. So können Haare fettig, nass, trocken, spröde oder auch mit speziellen Produkten gestylt sein. Diese Eigenschaften haben starken Einfluss auf alle Abschnitte in der Erstellung von computergenerierten Haaren: Von Grooming zu Shading, Simulation und Rendering müssen hier entsprechend des Zustandes der Haare Änderungen vorgenommen werden.

Vor allem wenn Haare nass werden, hat dies einen enormen Einfluss auf deren Erscheinungsbild. Haare sind nämlich sehr permeabel und können 30-40% ihres eigenen Gewichts an Wasser in sich aufnehmen [WGL04]. Dadurch vergrößert sich außerdem ihr Durchmesser um bis zu 13% [BAQ05].

Durch Wasser wirken erhöhte Anziehungskräfte, diese haben Gruppierungen nahe gelegener Haarsträhnen zur Folge. Dieses Clumping führt dazu, dass nasse Haare sehr viel weniger voluminös aussehen, als trockene Haare. [WGL04]

Außerdem beeinflusst die Nässe auch die Form der Haare. So verbindet sich das Wasser zwischenzeitlich mit dem Keratin der Haare, was eine Änderung der Haarform zur Folge hat. Glatte Haare können wellig erscheinen und lockige Haare wirken glatter. [RKN12]

Bei nassen Haaren dringt das Wasser nicht nur in die Haare ein, es legt sich auch als dünner Film über die

Haare und bewirkt dadurch eine Vermehrung der spekularen Reflektionen. Der glänzende Effekt kommt auch durch einen weiteren Faktor zu Stande: Die Haarfarbe eines Haars befindet sich in dessen Kern und durch die zusätzliche Wasserschicht wird nun mehr Licht reflektiert, bevor es diesen erreicht. Dadurch erscheint das zurückgeworfene Licht zunehmend farblos. Zusätzlich zu den stärker spiegelnden Eigenschaften der Haare, bewirkt die Nässe, dass das Licht weniger gestreut wird, was wiederum die Haare dunkler aussehen lässt (siehe **Abbildung 5 a**). [WGL04]

Bei der Simulation muss weiterhin beachtet werden, dass nasse Haare bis zu einem Zehnfachen flexibler sind als trockene Haare [Robo2].

Fettige Haare haben die gleichen Eigenschaften wie nasse Haare. Die Kopfhaut produziert Talg, um die Haare zu pflegen und geschmeidig zu halten. Allerdings wirkt sich dies beim Menschen meist nur sichtbar am Ansatz aus, da das Fett bei regelmäßiger Haarwäsche entfernt wird, bevor es sich gleichmäßig über die Haarlänge verteilen kann. Um festzulegen, wie fettig die computergenerierten Haaren sein sollen, muss festgelegt werden, wann die Haare zuletzt gewaschen wurden.

Das Gegenteil von fettigen Haaren sind strohige Haare, welche meist durch Überstrapazierung entstehen. Strohige Haare sind deutlich voluminöser, da diese Haare in alle Richtungen abstehen und sich schwer bändigen lassen. In Bezug auf die Computeranimation müssen hier die spekularen Reflektionen verringert und die Anzahl von abstehenden Haaren erhöht werden.

Stylingprodukte können das Aussehen und Verhalten von Haaren zusätzlich beeinflussen. Fixierende Produkte wie Haarspray sorgen dafür, dass Haare zusammenhalten und sich in großen Gruppen bewegen. Dadurch werden sie deutlich steifer und bewegen sich weniger. [WGL04]

Außerdem treten hier wieder ähnlich optische Effekte wie bei Wasser auf. Durch die zusätzliche Schicht auf den Haaren wirken die Reflektionen stärker und gezielter, während die Verminderung des gestreuten Lichts eine dunkler wirkende Haarfarbe zur Folge hat. Auch das Clumping wird leicht verstärkt und das Haarvolumen etwas verkleinert (siehe **Abbildung 5 b**).



Abbildung 5: a) Unterschied zwischen trockenen und nassen Haaren; b) Unbehandelte Haare und Haare behandelt mit Haarspray.

2.8 Probleme in der Computeranimation

Fell auf einem Charakter kann viel kaschieren aber auch ungewollt verdecken. Beim Erstellen des Modells ist dieses zunächst nackt, erst später wird Fell hinzugefügt. Ein nackter Löwe ohne Mähne kann sehr dünn aussehen, ebenso ein Luchs unter seinem Backenbart. Es ist es auch sehr diffizil Referenzfotos von haarlosen Tieren zu finden, besonders bei spezielle Arten. Daher muss häufig auf Referenzen von ähnlichen Arten oder auf das eigene Vorstellungsvermögen zurückgegriffen werden.

Besonders wenn das Modell animiert wird, ist zu beachten, dass das Fell keine Gesichtsausdrücke verdeckt. Im Disney Film „Zootopia“ zum Beispiel kam es häufig vor, dass bei einem Lächeln die Ränder des Mundes durch Fell verdeckt wurden und das Lächeln des Charakters nicht so deutlich sichtbar war, wie vom Animator gewünscht. Deshalb musste den Animatoren in der Pipeline die Möglichkeit gegeben werden, die Haare in finaler Anzahl und Position angezeigt zu bekommen, um zu evaluieren, ob der Gesichtsausdruck extremer gemacht werden muss. [Fai16]

Es ist eine große Hürde in der Computeranimation die Bewegung von Haaren zu simulieren. Computeranimation erlaubt es, Haare zu erzeugen, die nicht realistisch sind, oder Charaktere Bewegungen ausführen zu lassen, die in Wirklichkeit gar nicht möglich wären.

In „Tangled“ zum Beispiel hat die Hauptfigur Rapunzel extrem lange Haare, die es so in der Realität nie geben könnte (siehe auch: Kapitel 2.3 Haarwachstum). Wenn diesen Haaren ein normales Gewicht gegeben wird, sind sie viel zu schwer und behindern den Charakter in all seinen Bewegungen. Vor allem würde aber der Anfang von Rapunzels Haaren nie gerade an ihrem Rücken herunter hängen, sondern immer mit einer gewissen Spannung schräg in der Luft hängen, da der Rest ihrer Haare hinter ihr auf dem Boden liegt. Deshalb wurde die Haftung des Bodens deutlich verringert, wodurch die Haare sich leicht mit Rapunzel mitbewegen konnten. [WKM10]

In dem Film „Brave“ gab es dagegen ein anderes Problem zu lösen: der Charakter verfügte über sehr lange, starke Locken, die schön auf dessen Bewegungen reagieren und dann wieder in ihre ursprüngliche Form zurückkehren sollten. Um dies zu simulieren, wurden die Locken wie Sprungfedern behandelt. Allerdings ergab sich dadurch wiederum ein Problem, welches der Computeranimation eigen ist: Der Charakter vollführte viel extremere, schnellere Bewegungen, als in der Realität möglich, wodurch auch die Locken extrem verformt wurden. Um diese Verformungen wieder auszugleichen, aber weiterhin für normale Bewegungen die gleiche Bandbreite an Dehnung der Locken zuzulassen, wurde ein neues System entwickelt, in welchem innerhalb der Sprungfedern nochmal Sprungfedern fest gemacht sind. Dadurch hatte das Haar bei normalen Bewegungen die normale Elastizität, wurde aber bei extremen Bewegungen gedämpft. [Sey12]

2.9 Besonderheiten verschiedener Arten von Haaren und Sonderformen

Haare gibt es in allen Formen und Farben, allerdings gibt es auch Sonderformen wie Stacheln und Federn. Unterschiede in den Haaren haben bestimmte Anforderungen in der Computeranimation, auf die an dieser Stelle näher eingegangen wird.

Kurzes Haar beispielsweise braucht eine höhere Anzahl an Haaren, um den Körper vollständig zu bedecken. Hat ein Charakter sowohl lange als auch kurze Haare, ist es sinnvoll, den kurzen Haaren eine separate Dichte zuzuweisen, um sich Haare und damit Renderzeit zu sparen.

Langes Haar dagegen benötigt mehr Variation als kurzes Haar, da es sonst gleichförmig aussehen kann. Vor allem Clumping ist hier deutlich stärker ausgeprägt, als bei kurzen Haaren.

Sehr feine Farbdetails und Muster können bei langem Haar außerdem schnell verloren gehen oder komisch aussehen, daher sollte immer die Haarlänge beachten werden, wenn eine Textur gemalt wird.

Manche Säugetiere, wie Igel oder Stachelschweine, weisen Stacheln auf. Stacheln sind Haare, die im Laufe der Zeit eine dicke Keratinschicht gebildet haben, um damit Feinde abzuwehren. Bei der Animation von Stacheln kann derselbe Ansatz wie bei der Erstellung von Haaren verfolgt werden. Zu Beachten ist, dass Stacheln sehr viel dicker sind als Haare und spitz zulaufen müssen. Außerdem sind sie sehr steif und lassen sich wenig bis gar nicht biegen. Durch ihren größeren Umfang und die Keratinschicht sind sie schwerer als Haare, was bei der Simulation zu berücksichtigen ist. Außerdem sollte nicht der Sinn und Zweck der Stacheln vergessen werden: der Schutz des Körpers vor Feinden. Ein Stachelschwein zum Beispiel kann seine Stacheln auf Wunsch aufstellen. Dies ist in beschränktem Umfang auch bei feinen, kurzen Haaren des Menschen möglich, zum Beispiel im Falle einer Gänsehaut.

Federn wiederum sind ein Sonderfall der weitaus komplexer zu lösen ist. Das Federkleid eines Vogels weist starke Variationen in der Form auf. Diese reichen von den kleinen, flauschigen Daunen des Unterkleids bis zu großen glatten Federn am Ende der Schwingen. In jedem Fall ist es notwendig eine eigene Federgeometrie – dies kann zunächst eine leicht abgeschrägte Fläche sein – zu instanziiieren. Lange, dünne Röhren, wie sie eigentlich in der Computeranimation für Haare verwendet werden, führen hier nicht weiter und lassen sich höchstens bei extrem feinen, kleinen Federn als Annäherung verwenden.

3 XGen

„XGen is a geometry instancer that lets you populate the surface of polygon meshes with an arbitrary number of primitives either randomly or uniformly placed.“ [May16]

XGen wurde von Disney für das Erstellen von Haaren, Federn und Blättern entwickelt und zuerst auf der SIGGRAPH Konferenz 2003 in einem wissenschaftlichen Paper vorgestellt. 2011 schloss Disney einen Vertrag mit Autodesk ab, der Autodesk eine exklusive Lizenz von XGen zusprach. Daraufhin wurde XGen in Maya integriert, einem der führenden Programme in der 3D Visualisierung. [DR11]

XGen ist seither gratis und für alle Besitzer einer Maya-Lizenz frei zugänglich.

Im Folgenden behandelt dieses Kapitel den grundlegenden Workflow der Erstellung von Haaren mit XGen innerhalb Maya und legt dabei ein besonderes Augenmerk auf das Thema Grooming, aber auch Shading und Simulation mit XGen sollen hier grundlegend erklärt werden.

3.1 Grooming

Grooming bedeutet so viel wie „Pflege“ und bezieht sich in der Computeranimation auf die Erstellung, Positionierung und Verformung von Haaren mit diversen Tools.

3.1.1 Descriptions & Collections Workflow

Wenn mit XGen Haare auf einem Objekt erstellt werden sollen, muss zunächst eine Description und eine Collection erstellt werden. Einem Objekt ist in der Regel nur eine Collection zugewiesen, aber häufig mehrere Descriptions. Die Collection ist den Descriptions übergeordnet und umfasst alle Haarsorten auf dem Objekt. Eine Description definiert dagegen eine einzelne Haarsorte. Bei dem Modell eines Menschen beispielsweise kann jeweils eine Description für das Haupthaar, eine für die Augenbrauen, eine für die Wimpern und eine für die Körperhaare erstellt werden. Diese können in einer Collection namens „Mensch“ zusammengefasst werden. Bei einem komplexen Modell können dabei einige Descriptions zusammen kommen, daher sollten Collections und Descriptions immer eindeutige Namen zugewiesen werden. In jedem Fall ist es sinnvoll zu Beginn zu skizzieren wie viele Descriptions für das Objekt erstellt werden sollen und was genau diese beinhalten.

Unter Umständen kann es auch nützlich sein, eine vermeintlich zusammengehörige Haarsorte in mehrere Descriptions aufzuteilen. Zum Beispiel kann für die Frisur einer Frau eine Description für das Haupthaar und

eine für den Pony erstellt werden, falls der Pony starke Unterschiede zum restlichen Haar aufweisen soll.

Ein anderer häufig angewendeter Fall ist das Fell eines Tieres. Wie unter Kapitel „2.9 Besonderheiten verschiedener Arten von Haaren und Sonderformen“ bereits erwähnt, benötigt kurzes Fell bei gleicher Dicke eine sehr viel höhere Dichte an Haaren als langes Fell, um die Körperoberfläche zu bedecken. Die meisten Tiere haben von Natur aus im Gesicht viel kürzeres Fell, als am Körper, daher lässt sich das Gesichtsfell und das Körperfell auch in zwei Descriptions aufteilen, um die Haaranzahl so gering und damit effizient wie möglich zu halten.

Die zweite Hürde, die es bereits am Anfang zu klären gilt, ist zu entscheiden wie die Haar-Geometrie erzeugt und modifiziert werden soll. Für das Erstellen von Haaren lässt sich zwischen Splines und Groomable Splines auswählen. Custom Geometry/ Archives, Spheres und Cards sind für andere Aufgaben günstig, wie Federn, Steine oder jede beliebige andere Art von vervielfältigter Geometrie. Auch ist bei diesen Optionen die Anbindung an verschiedene Renderer anderer Parteien in vielen Fällen nicht gegeben. Unterstützt ein Renderer XGen explizit, stellen Splines und Groomable Splines aber keine Hürde dar.

Die separate Möglichkeit zur Erstellung von Haaren mithilfe der Interactive Grooming Tools wird in Kapitel „3.1.5 Interactive Grooming Tools“ näher besprochen.

3.1.2 Splines & Groomable Splines

Splines und Groomable Splines eignen sich beide sehr gut zur Erzeugung von Haaren. Die Entscheidung für eine der Varianten hängt von mehreren Faktoren ab. Als Grundregel lässt sich sagen, dass Splines besser für lange Haare und Frisuren sind, die Groomable Splines dagegen für Fell und kurze Haare.

Der grundsätzliche Unterschied zwischen den Varianten besteht darin, dass die Haare bei Splines entweder über Expressions oder Guides kontrolliert werden, während bei Groomable Splines eine Vielzahl von nicht renderbaren Groomable Splines automatisch generiert wird, diese dann mit Tools gemeinsam verformt werden und anschließend als normale Splines gerendert werden. Groomable Splines sind deshalb angenehmer in der Benutzung und es kann schnell ein großer Bereich bearbeitet werden. Allerdings liegt der Nachteil darin, dass sehr feine Formänderungen schwierig realisierbar sind und vor allem bei langen Haaren die Handhabung drastisch schwieriger wird.

Splines bieten somit mehr Kontrolle während Groomable Splines schnell große Flächen bearbeiten können.

3.1.2.1 Splines

Bei Splines, die von Guides kontrolliert werden, werden zunächst keinerlei Haare angezeigt. Erst müssen Guides erstellt werden, welche die Form der Haare spezifizieren. Zunächst werden die Guides platziert, dabei gilt es die Regel „so wenig wie möglich, so viel wie nötig“ zu beachten. Je weniger Guides platziert und geformt werden, desto schneller ist der Prozess. Werden nicht genügend Guides benutzt, bleiben kahle Stellen oder das Resultat hat ein Defizit in der Genauigkeit der Frisur.

Modifizierungen werden über das Sculpt Guides Tool vorgenommen oder indem die Control Vertices der Guides verschoben werden. Wichtig ist, zunächst die grobe Form zu erstellen und feine Details später hinzuzufügen.

Mithilfe der Guides werden die Splines erzeugt, die letztendlich gerendert werden. Diese können ausgeblendet oder angezeigt werden; standardmäßig ist eine automatische Aktualisierung der Haargeometrie aktiviert, die auf jede Änderung der Guides sofort reagiert. Dies spart manuelle Aktualisierungen, allerdings dauert im fortgeschrittenen Grooming Prozess das Aktualisieren zunehmend länger. Es empfiehlt sich ab einem bestimmten Punkt diese Funktion zu deaktivieren.

Mit dem Density Regler muss zunächst die Haaranzahl erhöht und zumeist auch die Haarb Breite verringert werden, da die Haare in der Regel zu groß erstellt werden. Das liegt an der internen Skalierung von XGen. Bevor die Haare erstellt werden, sollte geprüft werden, ob das Modell einer realen Skalierung entspricht oder noch größer skaliert werden muss. Ist die Skalierung zu klein, sind die Folgen unschöne Stellen in den Haaren, sowie die Notwendigkeit bei allen Reglern extreme Werte eingeben zu müssen.

Über den „Set Length...“ Button kann die Länge einzelner Splines verändert werden; über den Length Regler sollte die Länge jedoch nur dann modifiziert werden, wenn alle Haare gleichmäßig verlängert werden sollen. Auch durch das Verschieben der „Guide Control Points“ können die Haare verlängert oder verkürzt werden. Beim Formen der Guides ist darauf zu achten, dass diese stets genügend Abstand zur Hautoberfläche halten. Wenn es sich um lange Haare handelt, die sich um den Kopf herum biegen, sollte bedacht werden, dass die Haare um diese Guides herum interpoliert werden und viele dabei auch sehr viel näher an die Kopfhaut geraten. Die Guides dürfen nie die Oberfläche durchdringen.

Auf jeden Fall sollte der Modifier Control Vertex Count erhöht werden. Dieser beschreibt, wie viele Control Vertices die Splinekurve besitzt. Allerdings sind dabei nicht die Kontrollpunkte gemeint, die benutzt werden, um die Form der Splines manuell zu verändern (dieser Wert liegt normalerweise bei vier und kann über die „Rebuild“ Funktion geändert werden), sondern die Anzahl an Punkten, die letztendlich benutzt wird, um die Form der Haare zu interpolieren. Vor allem wenn mithilfe eines Modifiers Locken oder Noise hinzugefügt wird, muss der Modifier Control Vertex Count drastisch erhöht werden. Außerdem benötigen lange Haare mehr

Control Vertices als kurze Haare. Dieser Wert sollte so hoch eingestellt werden, dass auch bei einer sehr nahen Ansicht keinerlei Kanten in den Haaren zu sehen sind. Letztendlich bewirkt ein höherer Control Vertex Count immer höhere Rechenzeiten. Vor allem wenn die Haare simuliert werden sollen, kann dies ein entscheidender Faktor sein, der eventuell noch einmal angepasst werden muss.

Eine der wichtigsten Funktionen in XGen ist das Malen von Maps mit dem 3D Paint Tool. Die meisten Regler in XGen lassen sich zusätzlich zum Regler auch über eine selbst gemalte Map steuern, die erlaubt, dass an verschiedenen Stellen des Objektes unterschiedliche Werte gelten. XGen speichert seine Texturen über Ptex ab. Dies bedeutet, dass eine Textur, die über ein anderes Verfahren erstellt wurde, zunächst konvertiert werden muss, bevor XGen damit arbeiten kann. Meistens reicht aber das in Maya integrierte 3D Paint Tool vollkommen aus, welches sich automatisch öffnet, wenn eine Map gemalt werden soll. Nach der Erstellung der Textur wird diese mit Betätigung des „Save“ Buttons zunächst in Ptex konvertiert und somit vom Programm erkannt. Häufig werden lediglich schwarz-weiß Masken gemalt, zum Beispiel, um die Haaransatzlinie klar zu definieren. Es kann aber auch eine Region Map mit mehreren Farben erstellt werden, die besagt, dass alle Haare, die auf einer bestimmten Farbe ansetzen, auch nur von Guides beeinflusst werden, die ihren Ursprung auf dieser Farbe haben. Diese Funktion ist beispielsweise für die Erstellung eines Scheitels nützlich.

Neben der Map lassen sich als Alternative Expressions verwenden. Diese können auf einzelne Regler angewandt werden, aber auch global auf alle Haare: Hier bestehen die Grenzen nur in den eigenen Programmierkenntnissen.

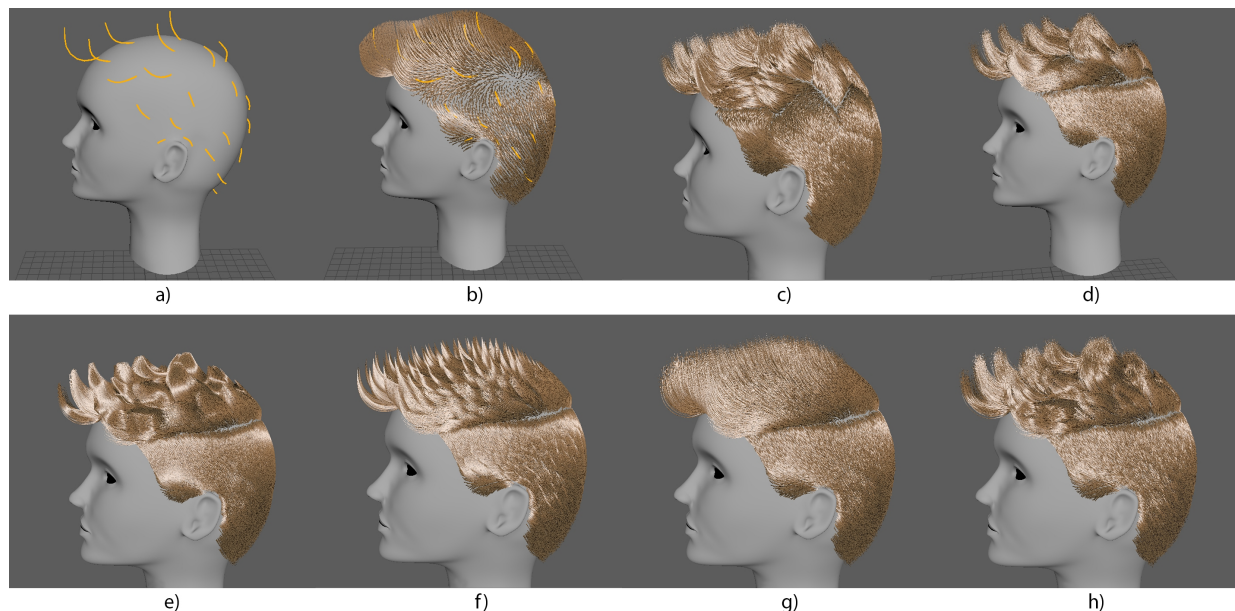


Abbildung 6: a) Positionierte Guides; b) Interpolierte Haare zwischen den Guides; c) Clumping Modifier auf Basis der Guides hinzugefügt; d) Haarlinie durch Region Map hinzugefügt; e) Erste Clumpingebebene; f) Zweite Clumpingebebene; g) Noise; h) Ergebnis aus Clumping 1, Clumping 2 und Noise

3.1.2.2 Groomable Splines

Groomable Splines bieten Zugang zum Grooming Tab und dessen Tools. Allerdings sind viele Funktionen aus dem „Primitives Tab“, die bei den Splines benutzt werden, nicht mehr verfügbar oder wurden automatisch mit dem Grooming Tab verlinkt, sodass alles Wichtige im Grooming Bereich gefunden werden kann.

Direkt zu Beginn werden eine Menge Groomable Splines erzeugt, deren Dichte so weit erhöht werden sollte, dass der Körper bedeckt ist. Anschließend können die Grooming Tools verwendet werden, diese in Form zu bringen. Durch Auswahl eines Brush, mit dem über die Oberfläche des Objektes gefahren wird, können die Splines, je nach Brush, regional verlängert, verbogen, geglättet oder zusammengezogen werden. Dieser Vorgang ist sehr intuitiv gestaltet.

Ein paar Punkte gilt es zu beachten: Die Änderung der Breite der Haare wirkt sich lediglich auf die renderbaren Splines aus, die Groomable Splines selbst werden dagegen nicht breiter. Wird die Einstellung von Lines auf Cards umgestellt, sind die Breitenunterschiede auch in den Groomable Splines erkennbar. Außerdem kann die Farbe der Spitze und der Wurzel der Groomable Splines eingestellt werden. Diese Funktion macht erkenntlich, ob sich die Haare ungewollt in das Objekt hinein biegen.

Ein häufiger Anfängerfehler besteht darin, nach Beginn des Groomings die Density zu verändern. Normalerweise ist die Erstellung weiterer Splines auf „Linear“ gesetzt, was bedeutet, dass bei einer Veränderung des Reglers alle Haare neu erstellt werden und damit wieder senkrecht in uniformer Länge vom Objekt abstehen. Um dies zu verhindern, sollte bereits zu Beginn diese Einstellung auf „interpolate“ gewechselt werden. So werden neu hinzugefügte Splines zwischen den schon bisher Geformten interpoliert und die Sorge um Verlust eines Grooms ist nicht nötig. In jedem Fall sollte der Groom regelmäßig exportiert und gespeichert werden.

Bei sowohl Splines als auch Groomable Splines gilt: Um Zeit zu sparen lohnt es sich, bei einem symmetrischen Modell zunächst nur eine Seite zu gestalten und diese dann auf die andere Seite zu spiegeln. Anschließend können gewollte Unterschiede zur jeweiligen Seite hinzugefügt und der Übergang angepasst werden.

3.1.3 Modifier

Modifier werden benutzt, um die Form und das Verhalten der Haare zu verändern. Es gibt 22 verschiedene Modifier zur Auswahl, die sowohl das Aussehen der Haare verändern, als auch zur Simulation genutzt werden können. Sie lassen sich sowohl bei Splines als auch Groomable Splines exakt gleich anwenden.

Unter dem entsprechenden Tab können diese hinzugefügt und übereinander gestapelt werden. Die Reihenfolge hat dabei eine große Bedeutung: Der Effekt, der zuunterst in der Liste liegt, wird zuerst berechnet und alle darüber immer jeweils auf Grundlage des voran gegangenen Modifiers. Wurden mehrere Modifier erzeugt und die Reihenfolge anschließend verändert, kann das großen Einfluss auf das Ergebnis haben. Manche Modifier können auch nur ganz oben oder unten in der Liste erscheinen. So stehen Clumping Modifier immer am unteren Ende der Liste und lassen sich nicht über anderen Modifiern platzieren. Die Reihenfolge mehrerer Clumping Modifier kann allerdings untereinander verändert werden. Eine Auflistung mit zwei Clumping Modifiern und einem Noise Modifier findet sich in **Abbildung 7**.

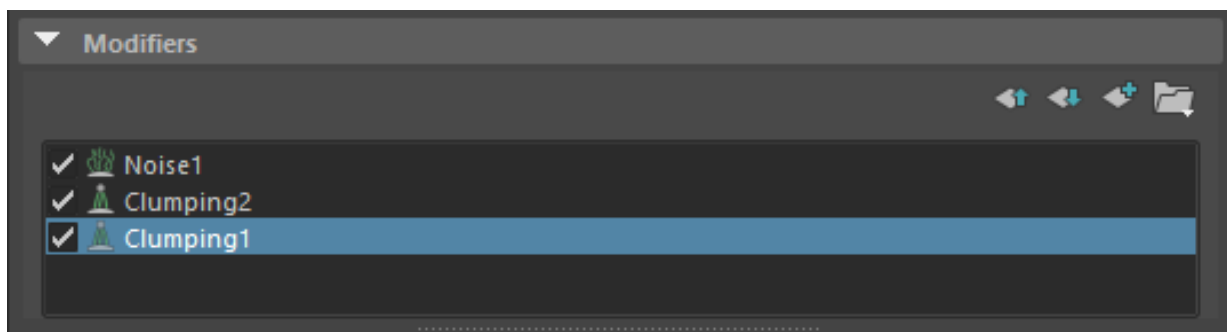


Abbildung 7: Eine Modifier Liste mit zwei Clumping Ebenen und einem Noise.

Einer der wichtigsten Modifier ist der Clumping Modifier. Dieser ist unerlässlich um ein gewisses Level an Realismus zu erreichen. Es ist sinnvoll, mindestens zwei Clumping Modifier mit verschiedenen Einstellungen in seinem Groom zu integrieren (siehe auch: Kapitel 2.6 Clumping). Innerhalb des Clumping Modifiers können verschiedene Effekte integriert werden, die sich auch außerhalb als separate Modifier hinzufügen lassen. Die unterschiedliche Position führt jedoch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Wenn beispielsweise der Cut Effekt im Clumping Modifier aktiviert wird, werden die einzelnen Haarsegmentierungen in ihrer Länge geändert. Bei einem separaten Cut Modifier dagegen wird jedes einzelne Haar für sich beschnitten.

Mithilfe der Modifier können auch abstehende Haare einfach erstellt werden. Diese sind unerlässlich, um ein realistisches Haarverhalten zu erzeugen. Ein Weg wäre, eine zusätzliche Description zu erstellen, die eine geringe Haardichte aufweist und mit einem eigenen Noise versehen ist. Eleganter ist es, abstehende Haare mit Hilfe von Expressions in die bereits existierende Description integrieren. Zunächst muss der Prozentsatz der Haare festgelegt werden, der als „Stray Hair“ gelten soll. Dann wird, beispielsweise bei einem Noise Modifier, eine Expression eingefügt, die, falls ein abstehendes Haar betroffen ist, dem Haar einen anderen Wert zuweist als den restlichen Haaren. Dieser Code lässt sich nicht nur auf den Noise Modifier anwenden, aber dort ist es für diesen Zweck am sinnvollsten (siehe **Abbildung 8**).

Frequency `stray() ? 3 : 1`

Abbildung 8: Code zur Generierung von abstehenden Haaren innerhalb eines Noise Modifiers. Haare, die innerhalb des „Stray Hair“ Prozentsatzes liegen, bekommen einen Wert von 3 in der Frequency zugewiesen, die anderen Haare einen Wert von 1.

3.1.4 Tube Groom

3.1.4.1 Allgemein

Der sogenannte „Tube Groom“ beschreibt eine Technik zur Erstellung von Haaren an menschlichen Charakteren. Diese Technik eignet sich für mittelkurze bis sehr lange Haare, allerdings weniger für sehr kurze Haare sowie Fell. Dabei wird eine röhrenartige Geometrie benutzt, um das spätere Aussehen der Haare zu definieren. Diese Röhren werden dann durch XGen in Guides konvertiert und zur Erzeugung der Haare benutzt.

Ein gewisser Grad an Clumping wird durch dieses Verfahren auf jeden Fall sichtbar. Je kürzer Haare sind, desto weniger prägen sich Clumps heraus und das Verfahren kann zu extrem wirken. Tube Groom ist außerdem verhältnismäßig aufwendig für große Flächen und somit unbrauchbar für Fell, da in diesem Fall eine sehr viel größere Fläche zu bearbeiten ist, als das bei der Kopfhaut eines Menschen der Fall ist. Diese Lösung eignet sich besonders für lange Haare, die einer ganz bestimmten Form folgen sollen.

Tube Groom gewährt von Anfang an in der Produktionspipeline sehr viel Kontrolle über das Aussehen des Haares. Dieses Verfahren wird vor allem bei komplexen Haarfrisuren von Hauptcharakteren eingesetzt, da hier das Design ohne viele Kompromisse umgesetzt werden soll. So wurde das Verfahren zum Beispiel bei Disney's „Frozen“ für die Haare der Hauptfigur Elsa eingesetzt (siehe **Abbildung 9**). [SW14]

So wurde das Verfahren zum Beispiel bei Disney's „Frozen“ für die Haare der Hauptfigur Elsa eingesetzt (siehe **Abbildung 9**) [SW14].

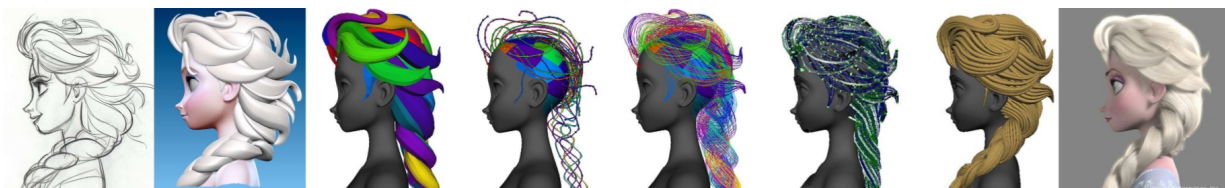


Abbildung 9: Tube Groom Prozess des Hauptcharakters Elsa in dem Disney Film „Frozen“

Die Technik erlaubt es, bereits von Anfang an ein Gefühl für das Volumen der Frisur zu haben. Es müssen keine Guides verformt werden aus denen die Haare berechnet werden, die Haargeometrie lässt sich einfach modeln. Diese Geometrie besteht aus einzelnen Röhren, die an der Kopfhaut ansetzen und zum Ende hin spitz zulaufen. Außerdem müssen sie bestimmten Ansprüchen genügen: Sie müssen die Kopfhaut komplett bedecken, damit keine kahlen Stellen entstehen, Sie dürfen sich auf der Kopfhaut an keiner Stelle überschneiden und die Haarröhren dürfen nicht abrupt die Richtung wechseln. [SW14]

Tube Groom lässt sich mit XGen sehr einfach verwenden, Yeti hat dafür jedoch keine direkte Funktion integriert.

3.1.4.2 Praktische Vorgehensweise

Die Röhren können direkt in Maya gemodelt werden, was aber recht unpraktisch ist, da dort keine sinnvollen Werkzeuge implementiert sind, welche die oben genannten Kriterien ausreichend erfüllen können. Einzelne Vertex-Punkte einer Röhre zu verschieben, bis diese die gewünschte Form annehmen, ist wenig sinnvoll und nicht produktionsstauglich.

Disney selbst hat sich für diese Hürde ein eigenes Programm namens „Tonic“ erstellt. Dieses erstellt die Röhren selbst und erfüllt die erforderlichen Kriterien automatisch, der Anwender muss beim Formen diese daher nicht mehr beachten [SW14].

Tonic ist für die Öffentlichkeit nicht zugänglich, weshalb auf andere Möglichkeiten zur Erstellung der Röhren zurückgegriffen werden muss.

Eine weitere Option für diesen Schritt ist „ZBrush“, ein kostenpflichtiges Sculpting Programm, für das es eine voll funktionale Testversion gibt. Die Toolpalette umfasst einen Pinsel, der diese Röhren ganz einfach erstellen und formen kann. Eine schön geschwungen geformte Röhre, die spitz zuläuft, ist somit kein Problem, die anderen Anforderungen zu erfüllen, erfordert jedoch wiederum eigene Anpassungen.

Die Werkzeugeinstellungen ermöglichen, dass alle Röhren auf der Kopfhaut beginnen und auch dort bleiben, es gibt jedoch keine Einstellung die verhindert, dass sie sich dort überlappen oder eine Stelle frei bleibt. Dies muss während des Entstehungsprozesses selbst überwacht und gegebenenfalls angepasst werden.

Empfehlenswert ist es, von den untersten Haarteilen nach oben bis zum Scheitel hin zu arbeiten, um keine Stelle zu übersehen. Außerdem muss beachtet werden, dass die Haare nicht unter die Kopfhaut abtauchen dürfen, sondern immer darüber bleiben und Haarsträhnen, die weiter oben auf der Kopfhaut ihren Ursprung haben, auch immer über Haaren von weiter unten liegen.

Anschließend lassen sich die Röhren nach Maya exportieren. Hierbei ist darauf zu achten, dass die UV's mitgegeben werden, denn ohne diese funktioniert die Tube Groom Funktion in XGen nicht. Außerdem müssen die UV's richtig herum ausgerichtet sein: Der Anfang der Haare, der auf der Kopfhaut aufliegt, muss im UV Feld nahe o liegen, während die Spitze der Haare nach oben zeigt. Ansonsten wird XGen die Haare falsch anlegen, was gravierende Fehler zur Folge hat. Eine einfache Möglichkeit dies zu bewerkstelligen, ist, alle Röhren in Maya planar zu projizieren und dann gegebenenfalls um 180 Grad zu drehen. Bei kurzen Haaren, deren Röhrenenden nach oben zeigen, ist dies nicht notwendig, aber bei langen Haaren, deren Spitzen zum Boden zeigen, dagegen schon.

Bevor nach XGen gewechselt wird, müssen zunächst, falls vorhanden, die Deckel und Böden der Röhren gelöscht werden, da die Röhren an beiden Enden offen sein müssen. Dies lässt sich durch Mayas „Mesh Cleanup Tool“ bewerkstelligen.

Anschließend sollten die Röhren noch genau geprüft werden, um sicherzugehen, dass sowohl die UV's richtig liegen, als auch zu garantieren, dass jede Röhre offen ist.

Grundsätzlich ist es empfehlenswert, so wenig Röhren wie möglich zu verwenden, da sich der Arbeitsaufwand jeder Röhre bei jedem Produktionsabschnitt vervielfacht. In **Abbildung 10 a)** und **b)** ist ein exemplarischer Tube Groom abgebildet, der jedoch viel zu viele Röhren umfasst, um effizient zu sein. Zu Demonstrationszwecken wurde dieser weiter verwendet. Für eine Simulation wären die vielen Röhren unpraktisch, da aus jeder Röhre noch einmal ein Vielfaches an Guide-Kurven erstellt wird, die in ihrer gesamten Anzahl kaum simulierbar wären.

Sind die Röhren fertig gestellt, wird als nächstes eine Spline Description erzeugt. Diese soll durch Guides kontrolliert werden, die automatisch über die Röhren generiert werden.

Zunächst wird die Erstellung der Guides getestet. Werden diese richtig herum erzeugt, erscheinen auf der Kopfhaut am Ansatz der Röhren weiße Kreuze. Sind die UV's falsch herum erzeugt, erscheinen die Kreuze am Ende der Röhren und müssen überarbeitet werden.

Anschließend werden die Guides erzeugt, die Haargeometrie überprüft und angepasst. Die Guides selbst werden nun nicht mehr verändert, aber Modifier können noch hinzugefügt werden. Empfohlen wird vor allem mindestens ein Clumping Modifier, um die Zuspitzung der Haare zuzulassen.

Ein hilfreicher Zusatz, der durch Tube Groom sehr einfach möglich wird, ist die Einfärbung der Haare nach ihrer zugehörigen Röhre. Dies dient vor allem der Übersichtlichkeit. Bei dem Erstellen eines Tube Grooms wird automatisch eine Region Map, mit einer separaten Farbe für jedes Segment, angelegt. Diese lässt sich einsetzen, um die Guides oder die Haargeometrie im Viewport ebenso einzufärben (siehe **Abbildung 10 c)** und **d)**).

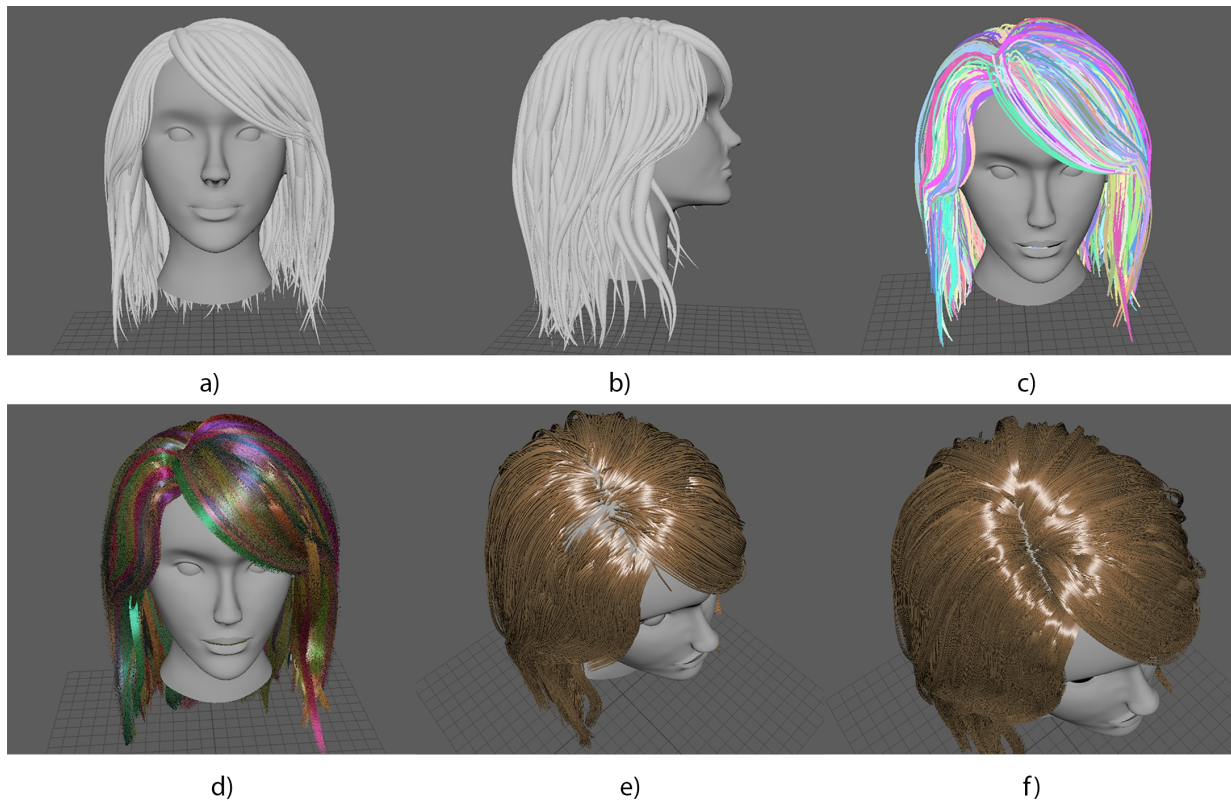


Abbildung 10: a) & b) Röhren Geometrie; c) Aus den Röhren erstellte Guides, eingefärbt; d) Daraus erstellte Haare, eingefärbt; e) Interpolierungsfehler am Scheitel, entstanden durch Überlappungen der Röhren an der Kopfhaut; f) Korrigierter Haarscheitel

3.1.5 Interactive Grooming Tools

Die Interactive Grooming Tools sind neu in Maya 2017 und lassen sich in keiner älteren Version anwenden. Sie bieten eine Alternative zu den bisherigen Workflows über Splines oder Groomable Splines und werden nicht nur über einen anderen Weg erzeugt, sondern besitzen auch ihren eigenen Editor: den Interactive Groom Editor.

Diese Art der Haarerzeugung bringt viele Verbesserungen zum bisherigen Workflow, ist momentan aber noch sehr limitiert in seiner Anwendung, da das Rendern bisher nur mit Arnold und die Anzeige lediglich im Viewport 2.0 möglich ist. Dies sollte unbedingt beachtet werden, wenn Haare mithilfe der Interactive Grooming Tools in XGen erstellt werden sollen.

Der größte Unterschied zu den bisherigen Workflows über Splines und Groomable Splines, ist, dass der Zwischenschritt über die Verformung von Guides oder Groomable Splines wegfällt und die Tools die Haargeometrie direkt beeinflussen.

Das Stylen der Haare wird somit nochmal einen Schritt einfacher und mutet, dank den verbesserten Tools, mehr und mehr einem Sculptingprozess an. Dies wird auch dadurch begünstigt, dass nun verschiedene Sculpt Layer angelegt werden können, auf denen sich die Tools anwenden lassen. Optional können diese ein- und ausgeblendet werden.

Einstellungen zur Haarlänge, Dichte usw. werden nun über den Attribute Editor vorgenommen, der am einfachsten über den „Interactive Groom“ Arbeitsraum erreichbar ist.

In den Werkzeugeinstellungen der einzelnen Brushes findet sich auch eine neue Funktion, die viel Mühe zum bisherigen Workflow erspart: Beim Formen der Haare besteht die Möglichkeit, diese mit dem Mesh kollidieren zu lassen. Dadurch wird verhindert, dass beim Kämmen die Haare ständig unter die Oberfläche des Objektes abtauchen und diese erst wieder darüber gehoben werden müssen, wie es bei den Groomable Splines der Fall ist.

Modifier lassen sich bei den Interactive Grooming Tools wiederfinden, doch wurde die Auswahl deutlich verkleinert, so findet sich beispielsweise kein Clumping Modifier mehr darunter. Clumping wird somit nur noch manuell über die Benutzung des Clumping-Brushes eingefügt.

Eine Formveränderung der Haare über einen zusätzlichen Sculpt Layer, der zeitweise ein- und ausgeblendet wird, ist ohne großen Aufwand machbar. Dadurch lassen sich unrealistische, comichaftige Haarbewegungen oder auch Veränderungen des Grooms für bestimmte Posen, sogenannte „Corrective Grooms, erzeugen. Es muss dazu lediglich ein neuer Sculpt Layer mit der gewünschten Pose der Haare erzeugt und darauf ein Key gesetzt werden.

Ein neues Feature ist das Anzeigen eines XGen Splinecounts. So kann die aktuelle Haaranzahl immer eingesehen und mit realistischen Zahlen verglichen werden (siehe auch: Kapitel 2.2 Haaranzahl).

Das Simulieren der Haare über ein nHair-System fördert mithilfe der neuen Tools nun deutlich schneller ein schönes Ergebnis zu Tage. Über das Erstellen eines „Linear Wire Modifiers“ können die nötigen Kurven sehr simpel erzeugt und in ein nHair-System integriert werden. Durch diesen Modifier wird die Frisur in der Simulation gut erhalten und bedarf nur noch weniger Anpassungen. Mehr Informationen zur Simulation mit einem nHair-System finden sich in Kapitel „3.3 Simulation“.

Ein Defizit gegenüber den bisherigen Workflows ist die fehlende Möglichkeit mit Expressions zu arbeiten. Dadurch geht nicht nur die Option verloren, viele Prozesse prozedural zu erledigen, auch das Einstellen von abstehenden Haaren innerhalb der Description ist nicht mehr möglich. Hierzu muss eine separate Description erstellt werden.

Trotzdem sind die Interactive Grooming Tools von XGen eine deutliche Verbesserung zu den bisherigen Workflows. Sobald die Möglichkeit des Einfügens einfacher Expressions, die Anbindung an andere Renderer und das Hinzufügen von mehr Modifiern möglich wird, wird dies vermutlich die meistgenutzte Form des Groomings in XGen darstellen.

3.2 Shading

Bei den meisten Renderern ist ein Material vorhanden, welches darauf spezialisiert ist, Haare und Fell zu shaden. Haare mit einem Standardmaterial wie einem Lambert zu versehen, ist in keinem Fall eine gute Idee, da diese nicht dafür ausgelegt sind.

Das zugewiesene Standardmaterial um Haare mit XGen in Maya 2017 zu erzeugen, ist der „hairPhysicalShader“. Dieser überzeugt vor allem durch seine Anbindung an den Viewport 2.0 und Einstellungen, die ohne große Veränderungen bereits gute Ergebnisse liefern.

Ein Shader, der allerdings noch mehr Möglichkeiten bietet, ist der al-Hair-Shader. Dieser stammt aus einem Open-Source-Shader-Paket entwickelt von Anders Langlands und ist erhältlich über dessen Website [Lan15].

Die Besonderheit am al-Hair-Shader besteht darin, dass sich diesem einen Melaninwert zuweisen lässt, um die Farbe der Haare zu bestimmen. Er hat jedoch keine Anbindung an den Viewport 2.0, was zur Folge hat, dass die Haare dort schwarz erscheinen. Beim Shading ist dies aber zunächst eher unwichtig, da das gerenderte Bild bewertet wird. Um allerdings nachträglich etwas am Groom zu ändern, empfiehlt es sich, hierfür nochmal auf den „hairPhysicalShader“ zu wechseln, um eine schnelle Evaluation im Viewport zuzulassen.

Der Melaninwert lässt sich auf einen Bereich von 0 bis 1 setzen, wobei ein Wert von 0 komplett weiße Haare erzeugt, die keinerlei Melanin enthalten. Bei einem Wert von 0.2 bis 0.4 entstehen blonde Haare, bei 0.4 bis 0.6 rote Haare und bei 0.6 bis 0.8 braune Haare. Auf diesen Weg können keine unnatürlichen Haarfarben wie blau oder grün erstellt werden. Um die Haare mit anderen Farbtönen zu versehen, kann über den Regler der „Dye Color“ die natürliche Haarfarbe überfärbt werden. Dies entspricht der Farbgebung der Haare vom Menschen und ist damit eine sehr exakte Art und Weise die Farbe zu bestimmen. Es ist ebenfalls möglich den Melaninwert auf 0 zu setzen, um lediglich über die Dye Color die Haarfarbe zu bestimmen.

Die Option unterschiedliche Farben für die Wurzel und Spitze der Haare zu bestimmen, ist hier im Gegensatz zum „hairPhysicalShader“ nicht als separate Einstellung vorhanden. Stattdessen muss an den Melaninwert oder die Dye Color ein Verlauf angekoppelt werden.

Für den Verlauf in der Dye Color stehen beliebig viele Farben zur Auswahl. Der Melaninwert wird hingegen durch eine Zahl von 0 bis 1 gesteuert und kann folglich nur durch einen schwarz-weiß Verlauf angesteuert werden. Hier ist zu beachten, dass vollkommenes Schwarz im Verlauf dem Wert 0 entspricht und somit beim Melanin eine weiße Haarfarbe erzeugt wird. Umgekehrt ergibt weiß im Verlauf schwarze Haare und ein mittlerer Grauton generiert eine rote Haarfarbe. Dies scheint zunächst erst einmal unsinnig, ist aber die physikalisch korrekte Weise der Haarfärbung. Abwesenheit von Melanin generiert weiße Haare, je dunkler die Haare, desto mehr Melanin enthalten sie (siehe auch: Kapitel 2.4 Haarfarbe).

Ein Beispiel eines Verlaufs, der an die Dye Color angeschlossen ist, zeigt **Abbildung 11 c)**. Ein sanfter Verlauf, der in den Melaninwert mündet und lediglich zwei Farben verwendet, lässt sich dagegen in **Abbildung 11 d)** erkennen.

Eine weitere hilfreiche Einstellungsmöglichkeit des al-Shaders ist die Kategorie „Randomize“. Diese bietet die Möglichkeit, eine natürliche Variation in die Haarfarbe zu bringen. Sie lässt sich sowohl für das Melanin als auch die Dye Color einstellen. Damit diese Funktion anwendbar wird, muss allerdings noch eine Einstellung in XGen vorgenommen werden. Unter „Custom Shader Parameters“ muss ein neuer Wert namens „curve_id“ erstellt und diesem der Wert „\$id“ gegeben werden. Damit wird die Information jeder einzelnen Haarsträhne an den Shader übergeben und kann so variiert werden.

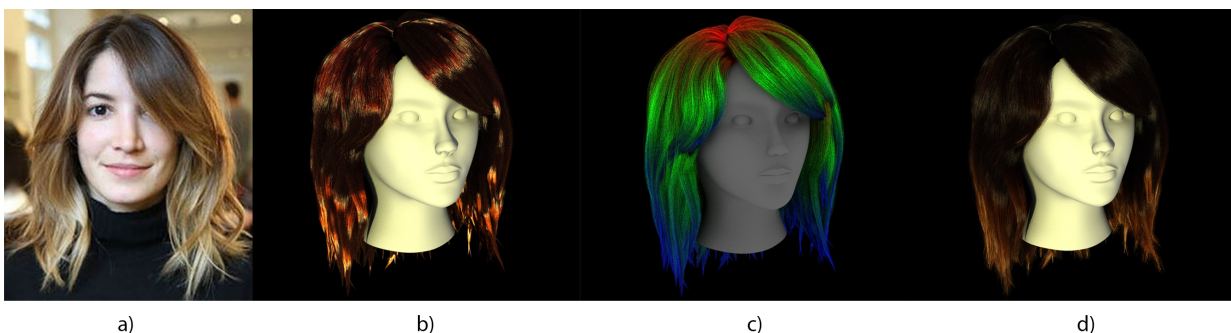


Abbildung 11: a) Referenzbild; b) Aussehen des al-Hair-Shaders ohne jegliche Anpassungen; c) Ein Verlauf wurde auf die Haare gelegt, welcher die Haarfarbe vom Ansatz bis zu den Spitzen ändert; d) Resultat nach diversen Anpassungen

3.3 Simulation

3.3.1 Herangehensweisen

Die Simulation von Haaren, die mit XGen erzeugt wurden, läuft größtenteils nicht innerhalb des Plugins ab, da XGen selbst dafür keine ausreichenden Lösungen anbietet. Integriert sind zwar einige Modifier, wie die Modifier für Wind und Force, aber deren Wirksamkeit ist sehr begrenzt, weshalb für die Animation einer Figur mit dazu passender Haarsimulation letztendlich nach anderen Lösungen gesucht werden muss.

Es bietet sich an Maya nHair zu benutzen, da eine ideale Anbindung an XGen gewährleistet ist. Die Simulation der Haare ist mit Sicherheit der komplizierteste Part der Haarerstellung mit XGen – auch da sie größtenteils nicht innerhalb XGen stattfindet. Für Einsteiger kann das eine große Herausforderung sein. Falls jedoch bereits Erfahrungen mit dem Maya nHair-System vorhanden sind, kann sich dies als ein Pluspunkt herausstellen, da die Arbeitsumgebung vertraut ist.

Ein Wind Modifier kann unter Umständen schon ausreichen, falls lediglich ein statisches Modell präsentiert werden soll, dessen Haare sich durch Wind bewegen. Dieser ist einfach einzustellen, es müssen lediglich ein paar Parameter verstellt werden. Die Erstellung eines kompletten Kräfteumfelds ist für diesen Zweck nicht notwendig.

So lässt sich durch diesen Modifier schon mit sehr einfachen Mitteln eine schöne Windsimulation erstellen.

Ein nHair-System dagegen verfügt über sehr viel mehr Einstellungsmöglichkeiten. So kann es auf unterschiedliche Arten und Weisen an die XGen Haare angeknüpft werden, um auf verschiedene Anforderungen zu reagieren.

Wenn mit Splines gearbeitet wurde, muss im „Guide Animation“ Abschnitt die Animation aktiviert werden. Anschließend wird ein nHair-System erzeugt, welches vier Komponenten beinhaltet: eine hairSystem-Node, eine nucleus-Node, eine Gruppe mit Follikel-Nodes und eine Gruppe mit Nurbs-Curves, welche aus den XGen Guides erstellt wurden. Nun können die Einstellungen des dynamischen Haarsystem modifiziert werden.

Bei dieser Variante können in XGen keine Anpassungen vorgenommen werden, lediglich das nHair-System kann modifiziert werden.

Besser jedoch ist der Arbeitsablauf über den AnimWires-Modifier, da er noch zusätzliche Einstellungsmöglichkeiten innerhalb von XGen bietet und vor allem auch für Groomable Splines verwendbar ist.

Hierzu wird zunächst ein AnimWires-Modifier und eine Control Map erstellt, welche die Position von sogenannten „Wires“ definiert. In der Regel wird bei einem ausgearbeitetem Groom immer auch ein oder mehrere Clumping-Modifier verwendet und falls das der Fall ist, sollten die Wires anhand des Clumpings erstellt werden: Pro Clump wird ein korrespondierender Wire erstellt. Bei mehreren Clumping Ebenen ist zu beachten, dass nur die oberste Ebene hierfür verwendet wird, da die unteren Clumping Ebenen zu fein sind und viel mehr Wires erzeugen würden als nötig. Falls kein Clumping-Modifier auf die Haare angewendet ist, können die Wires gleichmäßig über die Oberfläche verteilt erzeugt werden.

Anschließend wird das nHair-System generiert.

Die folgenden Informationen gelten für beide Ansätze.

3.3.2 Einstellung des nHair-Systems

Um die Simulation jedes Einzelbildes mit einbeziehen zu können, sollte zunächst die Wiedergabegeschwindigkeit des Time Sliders auf das Abspielen jedes Frames gestellt werden.

Anschließend sind Anpassungen in den Einstellungen der Nucleus-Node vorzunehmen. Extrem wichtig ist die korrekte Einstellung des Größenverhältnisses. Es ist von Vorteil das Modell von vornherein in einer Skalierung zu erstellen, die der realen Welt entspricht. Oftmals ist das nicht der Fall, was die Simulation stark verfälschen kann. Eine Skalierung der Geometrie kann zu Problemen mit dem bisherigen Groom führen, deshalb ist die unproblematischere Variante, das dynamische Haarsystem zu skalieren. Dafür hat die Nucleus-Node eine Einstellung namens „Space Scale“. Diese ist zu Beginn auf 1 gesetzt. Der richtige Wert für die Space Scale berechnet sich aus der Größe des aktuellen Objekts und der angestrebten Größe des Objekts. Beide Werte müssen ermittelt werden. Die korrekte Größe wird durch die aktuelle Größe geteilt und ergibt den Faktor. Falls zum Beispiel ein menschlicher Kopf modelliert wurde, der lediglich 2cm breit ist, die tatsächliche Breite eines Kopfes aber bei circa 15cm liegt, muss der Faktor 0.133 eintragen werden. Außerdem sollten die „Substeps“ und „Max Collision Iterations“ erhöht werden, um eine gute Qualität der Simulation zu gewährleisten, sowie eventuell die Simulation sogar zu beschleunigen.

Um zu evaluieren, welche Schritte als nächstes eingeleitet werden sollen, muss die Simulation von Anfang an abgespielt werden. Die XGen Vorschau sollte dabei auf jeden Fall ausgeschaltet sein. Zur besseren Ansicht ist es außerdem sinnvoll die Gruppe mit den Follikel-Nodes zu verstecken.

Beim Abspielen sollte erkennbar sein, dass die Kurven auf die Gravitation reagieren und die Enden sich hinunter neigen, während ihr Anfang fest auf dem Objekt verwurzelt bleibt. Falls dies auffällig schnell oder langsam passiert, ist wahrscheinlich die Größe des Haarsystems nicht richtig eingestellt.

Dehnen sich die Kurven unnatürlich lange, muss im hairSystem-Node die „Stretch“ und „Compression Resistance“ erhöht werden. Dieses Problem tritt besonders häufig auf, wenn zuvor die Skalierung signifikant verändert wurde. Der Wert hängt außerdem von der Anzahl an Control Vertices ab. Je mehr Control Vertices ein Haar hat, desto höher muss die Stretch Compression gesetzt werden.

Auch die Werte „Drag“ und „Tangential Drag“ sollen erhöht werden, damit die Haare schneller in ihre „Rest Position“ gelangen. Dies ist die Ruheposition, die Haare annehmen, nachdem sie von ihrer ursprünglichen Position aus, der „Start Position“, durch Kräfte beeinflusst werden. Rest- und Startposition werden oftmals identisch eingestellt. Die Zeit, die die Haare benötigen, um diese Position einzunehmen, kann zu Beginn lang sein. Um die Simulation möglichst schnell bewerten zu können, sollte dieser Prozess beschleunigt werden.

Das nächste Problem, dass es in den Griff zu bekommen gilt, ist das der Durchdringung.

Zunächst fallen die Haarspitzen einfach durch jegliche Geometrie hindurch, da sie von dieser in keinem Maße beeinflusst werden. Selbst das Objekt, auf dem die Kurven angebracht sind, stellt kein Hindernis dar. Um dies zu ändern, muss das Objekt in das dynamische Haarsystem integriert werden. Dazu wird das Objekt ausgewählt und daraus ein „passive Collider“ erstellt. Nun erkennen die Kurven das Objekt als Geometrie, welche sie nicht durchdringen können. Die Kurven sollten somit in der Simulation das Objekt nicht mehr durchdringen, sondern immer über der Oberfläche sichtbar bleiben.

Falls das Objekt, das mit den Haaren kollidieren muss, hoch-polygonal ist, kann es ratsam sein, nicht dieses selbst als passiven Collider zu benutzen, sondern einen sehr niedrig-polygonalen Platzhalter. Dieser sollte annähernd die gleiche Form haben, allerdings mit einer viel geringeren Auflösung. Wird diesem der passive Collider zugewiesen, statt dem Originalobjekt, geht die Simulation schneller vonstatten. Der passive Collider lässt sich verstecken ohne dass er aus der Berechnung heraus genommen wird.

Zu beachten ist allerdings, dass dieser passive Collider die Kurven des passiven Haarsystems beeinflusst und dadurch nur indirekt die tatsächliche Haargeometrie, welche durch XGen erzeugt wird. Die letztendlich gerenderten Splines werden zwischen diesen Kurven interpoliert und können bei starken Richtungsabweichungen zwischen benachbarten Kurven wieder innerhalb der Kollisionsgeometrie landen. (siehe **Abbildung 12**)

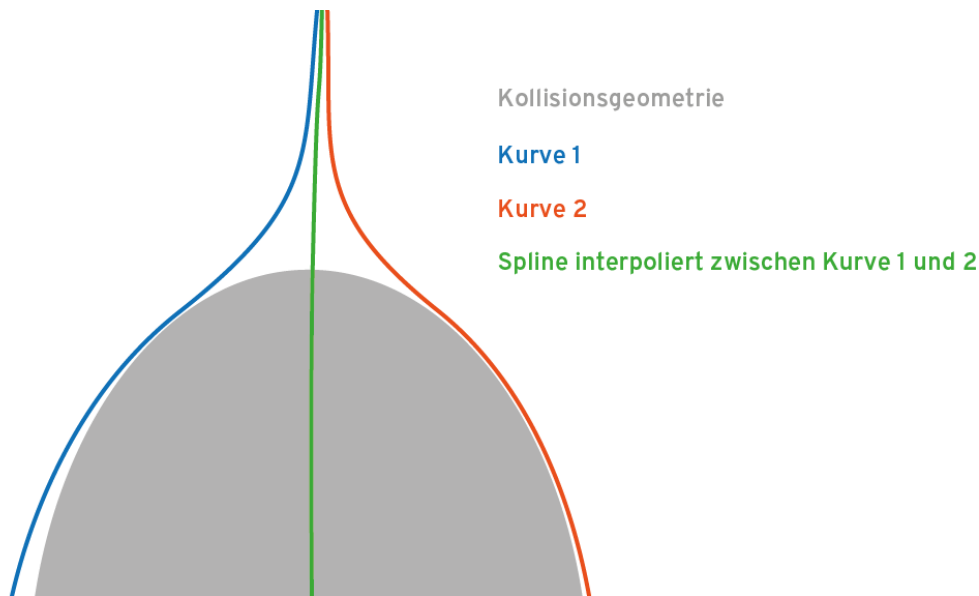


Abbildung 12: Die Kurven 1 und 2 kollidieren mit der Geometrie und durchdringen sie deshalb nicht. Die zwischen ihnen interpolierten Splines dagegen geraten wieder in die Kollisionsgeometrie hinein.

Um dies zu verhindern, kann in XGen zusätzlich einen „Collision Modifier“ hinzugefügt werden, der alle XGen Haare direkt ansteuert. Dieser Modifier muss in der Modifier Liste unbedingt oberhalb des AnimWire-Modifier stehen, damit die Kollision aufgrund der Wires erstellt wird und nicht aufgrund der XGen Guides. Der Collision Modifier funktioniert außerdem über einen „Alembic Cache“. Das bedeutet, dass mit dem bereits fertig animierten Objekt über die komplette Simulationsdauer ein Alembic Cache heraus gespeichert und dann mit dem Collision Modifier verbunden werden muss. Dieser Schritt sollte erst angewandt werden, sobald die Animation des Objekts final ist, da sonst bei jeder Änderung ein neuer Cache erstellt werden muss.

Mit eine der wichtigsten Einstellungen ist der „Start Curve Attract“ Wert. Diese wirkt im Grunde wie Haarspray, das heißt, je größer der Wert, desto eher behalten die Kurven ihre ursprüngliche Form bei. Ein extrem hoher Wert führt dazu, dass sich die Haare gar nicht mehr bewegen und somit keinerlei Simulation sichtbar ist. Idealerweise bleibt die Form der Haare erhalten und es werden dennoch Bewegungen zugelassen.

Sollen die Haare sowohl auf Gravitation, die Bewegung des Objekts und darüber hinaus auf eine zusätzliche Kraft, beispielsweise Wind, reagieren, wird dieser über die Nucleus-Node eingebunden. Die Werte für „Wind Speed“ und „Wind Noise“ müssen erhöht werden. Um eine Veränderung des Windes darzustellen können diese optional mit einem Key versehen werden. Eventuell müssen die Werte von Damp und Start Curve Attract ebenfalls verändert werden, um genügend Bewegung im Haar zuzulassen.

3.3.3 Verbindung des dynamischen Haarsystems mit XGen

Beim weiteren Verfahren mit der ersten Variante der Anbindung XGens an das Haarsystem müssen lediglich die Kurven ausgewählt und auf „Attach Hair System“ geklickt werden.

Das gleiche gilt zunächst für den Weg der AnimWires, wobei die Option hierbei im AnimWires-Modifier liegt und nicht unter dem „Primitives Tab“. Anschließend können einige zusätzliche Einstellungen vorgenommen werden.

Die Haare können über ihre Länge zwischen den statischen Guides und den simulierten AnimWires interpoliert werden. Es lohnt sich vor allem die Haare an der Wurzel nach den Guides und an der Spitze nach den AnimWires auszurichten. Dadurch werden aus der Simulation resultierende unschöne Bewegungen der Haare vor allem an der Kopfhaut minimiert.

Bei Bedarf kann eine Maske gemalt werden, die einzelne Teile der Haare stärker von der Simulation betreffen lässt als andere. Falls zum Beispiel mit dem nHair-System ein starker Wind erzeugt wird, der die Haare wie gewünscht, jedoch den Pony der Frisur komplett über das Gesicht wehen lässt, sollte die Simulation für den Pony abgeschwächt werden. Dadurch bewegt dieser sich immer noch im Wind ohne das Gesicht zu verdecken. Dieses Phänomen ließe sich zum Beispiel mit einer höheren Menge an Haarspray im Pony erklären. Auf keinen Fall sollte eine solche Maske schwarz sein, also einen Wert von 0 aufweisen, da der entsprechende Part dann überhaupt nicht mehr von der Simulation beeinflusst wird und extrem unnatürlich wirkt. Damit Haare realistisch wirken, sollte immer ein wenig Bewegung darin erkennbar sein.

Ein paar Möglichkeiten beschleunigen den Simulationsprozess. Es kann ein GroomBakeModifier hinzugefügt werden, der andere Modifier in einem Cache zusammenfasst, damit diese nicht immer aufs Neue berechnet werden müssen. Dieser muss unterhalb des AnimModifiers positioniert werden, da er auf diesen keinen Effekt hat. Weiterhin kann von den Kurven des dynamischen Haarsystems ein Alembic Cache erstellt werden, der dann in den AnimWire-Modifier eingespeist wird.. Dadurch kann der Nucleus deaktiviert werden, was viel Rechenzeit spart.

Somit ist die Simulation der Haare nun abgeschlossen und kann auf Wunsch gerendert werden. Bei zusätzlichen Veränderungen an der Simulation muss beachtet werden, dass alle Caches, die von dieser Veränderung beeinflusst werden, noch einmal manuell erneuert werden müssen.

4 Yeti

Yeti ist ein Node basiertes Programm. Das bedeutet, dass der Großteil der Arbeit über Knoten, die sogenannten „Nodes“, abgewickelt wird, die sehr viele unterschiedliche Funktionen haben können. Ihren Namen verdanken sie der Tatsache, dass sie miteinander verknüpft werden, um bestimmte Effekte zu erzielen.

So lassen sich auch nachträglich an jedem Knoten unkompliziert Veränderungen vornehmen und die volle Kontrolle über alle einzelnen Arbeitsschritte bleibt erhalten.

4.1 Grooming

Bei Yeti wird nicht wie in XGen zwischen klar getrennten Workflows unterschieden, vielmehr gibt es nur einen Workflow, der die volle Bandbreite an Möglichkeiten zulässt. Das hat den Vorteil, dass zu Beginn nicht sämtliche Entscheidungen gefällt sein müssen und die Vorzüge aller Möglichkeiten adaptiv nutzbar sind.

Vielmehr wird in Yeti vor allem zwischen zwei Nodes unterschieden: den Yeti-Nodes und den Groom-Nodes. Diese werden über das Yeti Menü auf dem Mesh erzeugt und sind dann im Outliner sichtbar. Die Yeti-Node ist der zentrale Kern jedes Yeti-Haarsystems und wird benötigt, um die Haare zu erzeugen, sowie den Zugriff auf den Graph-Editor zu ermöglichen. Prinzipiell wird keine Groom-Node benötigt um Haare zu erzeugen, da diese vollkommen prozedural allein über den Graph-Editor aufgebaut werden können. Allerdings gewährt dieser Workflow dem Nutzer nur sehr wenig Kontrolle. Daher werden meist ein oder mehrere Groom-Nodes genutzt um die Haare näher zu definieren. Bei der Erstellung mehrerer Groom-Nodes sollte beachtet werden, dass jede bereits zu Beginn einen eindeutigen Namen erhält. Damit sie letztendlich auch einen Einfluss haben können, müssen alle Groom-Nodes an die Yeti-Node angeschlossen und daraufhin in den Graph Editor importiert werden.

Es gibt drei Sorten von Nodes im Graph Editor, die mit unterschiedlichen Farben markiert sind und zwischen denen gewählt werden kann.

Die dunkelblauen Nodes sind „Input/ Output Nodes“, mit ihnen lassen sich Geometrien oder Grooms in den Graph importieren oder referenzieren. Die grünen Icons umfassen „Creation Nodes“, das heißt, mit ihnen wird etwas erzeugt und die türkis farbigen Nodes sind „Modify Nodes“, mit denen Vorhandenes verändert werden kann (siehe **Abbildung 13**).

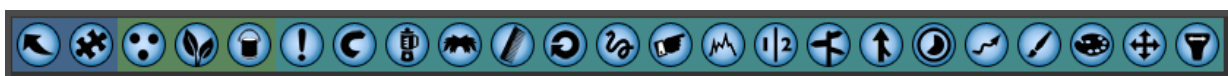


Abbildung 13: Verfügbare Nodes im Graph Editor

Damit Haare im Viewport angezeigt werden, muss in jedem Fall eine Import, eine Scatter und eine Grow Node vorhanden sein. Mit der Import Node wird die Geometrie, auf der die Haare erzeugt werden sollen, in den Graphen hinein geholt, um dann mit der Scatter Node darauf so etwas wie Follikel zu erstellen, aus denen die Haare dann wachsen können. Mit der Grow Node schlussendlich wird diesen Haaren eine Länge verliehen, sodass sie im Viewport sichtbar werden. Die Import Node macht die Geometrie, auf der die Haare erzeugt werden sollen, im Graphen verfügbar. Die Scatter Node erzeugt darauf dann Punkte aus denen Haare wachsen können und die Grow Node weist den Haaren eine Länge zu, sodass sie im Viewport sichtbar werden.

Für jeden Knoten gibt es auch die Möglichkeit dessen „Node Inspector Window“ anzeigen zu lassen. Darin lassen sich je nach Knoten unterschiedliche Parameter anpassen.

Außerdem hat jeder Knoten die Funktion den Zustand der Haare nur bis zu dieser Node zu berechnen. Es kann immer nur eine einzige Node dafür ausgewählt werden. Oftmals wird die letzte Node aus dem Node Tree dafür ausgewählt, um zu wissen, wie die Haare nach den Berechnungen des gesamten Netzwerkes schlussendlich aussehen. Jede Node kann zusätzlich deaktiviert werden, wodurch sie dann in der Berechnung übersprungen wird. Diese Funktionen sind vor allem zur Fehleranalyse sinnvoll und finden sich so, oder so ähnlich, in den meisten Node basierten Visualisierungsprogrammen.

Nachdem die drei Basis Nodes erstellt und miteinander verbunden wurden, können durch Modify Modes Anpassungen vorgenommen werden. Zum Beispiel können mit der Curl Node Locken erzeugt und mit der Bend Node die Haare in eine Richtung gebogen werden. Die Möglichkeiten dieser Optionen sind begrenzt; besonders wenn eine spezifische Frisur erstellt werden soll, kann eine Groom Node kaum vermieden werden. Über Modify Nodes können stets nur globale Parameter verändert werden, die auf alles gleich wirken. So ist es schwer, natürliche Varianzen an bestimmten Stellen zu erzeugen. All dies ist aber durch eine Groom Node möglich. Erzeugt wird sie, ebenso wie die Yeti Node, auf dem Objekt über das Yeti Menü. Dies gewährt Zugriff auf diverse Grooming Tools im Attribute Editor, welche den Nodes aus dem Graph-Editor sehr ähneln. Zur Auswahl stehen Creation Tools und Modify Tools, aber keine Import Tools. Dafür kommen noch rosa Sculpting Tools hinzu und farblose Utility Tools (siehe **Abbildung 14**).



Abbildung 14: Grooming Tools

Bei der Erstellung von Haaren mithilfe einer Yeti Node wachsen Haare zunächst auf der gesamten Oberfläche. Daher muss spezifiziert werden, wo genau die Haare wachsen sollen. Dafür eignet sich das Creation Tool „Add“. Jeder Klick auf das Mesh erstellt an dieser Stelle eine Kurve. Nur in einem bestimmten Radius um diese Kurve werden Haare erstellt. Dieser Radius wird über den „Radius Of Influence“ Regler verändert, je nachdem wie nah aneinander die Kurven platziert sind. Es sollte darauf geachtet werden, dass keine Lücken in den Haaren entstehen und der Haaransatz genau dort verläuft, wo er gewünscht ist. Während mit dem Add-Tool immer nur einzelne Kurven erstellt werden, können durch das Scatter Tool sehr viele gleichzeitig erstellt und somit schneller eine höhere Kurvendichte erreicht werden.

Sind aber zunächst lediglich Punkte oder gar nichts zu sehen, wenn diese Tools benutzt werden, dann liegt das daran, dass die erstellten Kurven noch keine Länge haben. Diese lässt sich über das erste und einzige standardmäßig implementierte Attribut namens „Length“ der „Attribute List“ anpassen. Zu dieser Attribute List können noch andere Teile beliebig hinzugefügt werden. Über die Yeti Documentation lässt sich herausfinden, welche Attribute es gibt und wie diese heißen. Zum Beispiel kann ein Clumping Attribut erstellt werden oder ein Attribut namens „part_“, welches die Haare in mehrere Segmente unterteilt. Mit diesem kann ein Scheitel oder ähnliche Trennungen im Haar erzeugt werden. Alle Attribute können über graustufige Scheiben an der Wurzel der Kurven anzeigen, welche Stellen beeinflusst werden. Weiß bedeutet, dass der Effekt des Attributes voll eintritt, während schwarz keinerlei Beeinflussung signalisiert (siehe **Abbildung 15**).

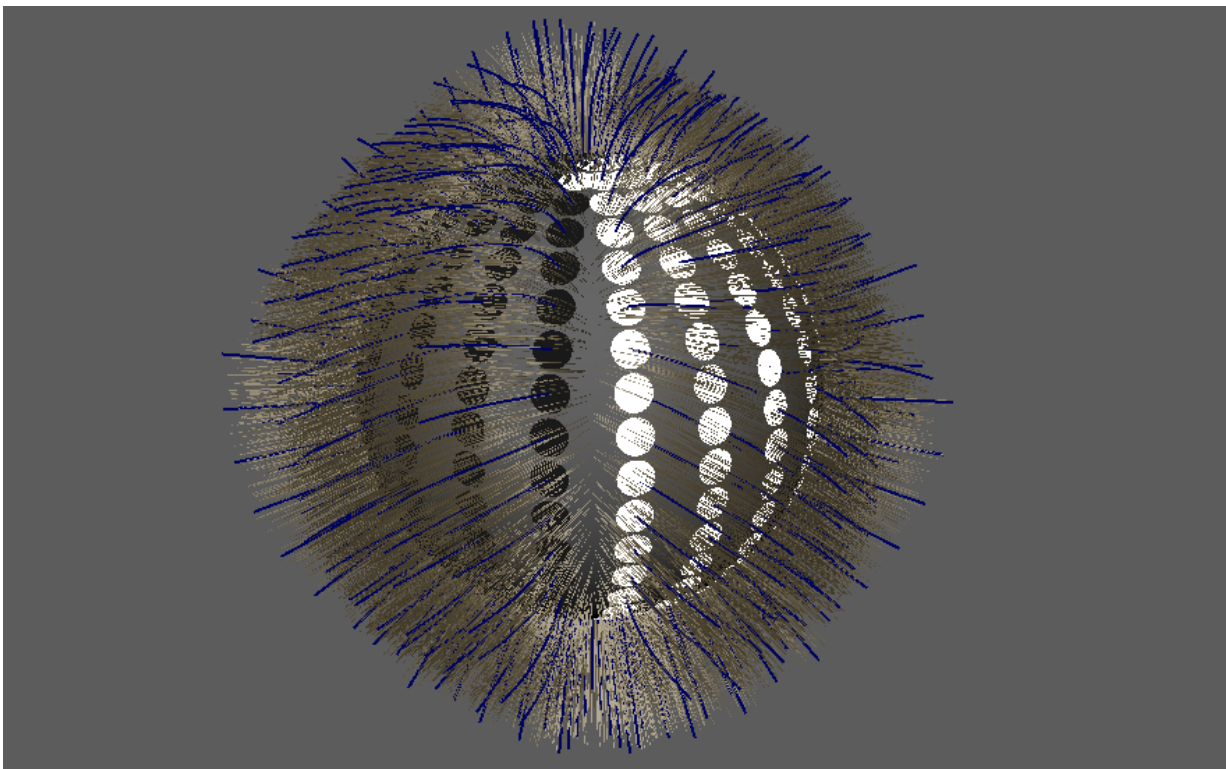


Abbildung 15: Eine Kugel mit aktiver Visualisierung eines „part_“-Attributes

Die Modify Tools sind, wie bei XGen, alle intuitiv, weshalb auf sie an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird.

Um nun die Veränderungen, die über die Groom Node gemacht wurden, auch an der Haargeometrie und nicht nur den Guides sehen zu können, müssen im Graph Editor eine Import Node erstellt und damit der Groom importiert werden. Anschließend werden die beiden Zweige über eine Modify Node miteinander verbunden, damit das Grooming mit einberechnet werden kann. Allerdings darf nicht vergessen werden, den Groom zusätzlich noch im Attribute Editor der Yeti Node als Input hinzuzufügen, damit der Ablauf funktioniert.

Es gibt außerdem in Yeti viele hilfreiche Nodes, die nicht einfach eine klare Veränderung des Grooms bewirken, sondern dazu gedacht sind, als Verbindungen zwischen anderen Nodes zu dienen. Mit einer Blend Node können zum Beispiel die Effekte zweier Nodes ineinander über geblendet werden oder mit einer Group Node können Unterteilungen gemacht werden, die bewirken, dass nur manche Effekte in einem bestimmten Bereich wirksam sind.

Eine sehr nützliche Node ist außerdem die Texture Node. Mit dieser lassen sich gemalte Texturen wie zum Beispiel eine Density Map in den Yeti Graph Editor implementieren. Maps können auch über ein Attribut in der Groom Node gemalt werden, aber über eine Texture Node können zusätzlich Texturen eingebunden werden, die außerhalb von Yeti erstellt wurden. So lassen sich mit steigenden Anforderungen an die Haare auch immer komplexere Node Netzwerke erzeugen.

4.1.1 Clumping

Clumping in Yeti funktioniert über eine Clumping Node. Diese hat zwei Inputs: Den oberen für die letztendlich erstellte Haargeometrie und den unteren, um zu spezifizieren an welchen Stellen die Clumps entstehen sollen. Es gibt allerdings viele verschiedene Möglichkeiten diese Nodes mit anderen zu verknüpfen und so ergibt sich auch stets ein etwas anderes Resultat. Diese Vielfalt an Möglichkeiten gibt es prinzipiell bei jeder Node in Yeti, deshalb werden im Folgenden einige verschiedene Wege exemplarisch anhand der Clumping Node aufgezeigt.

Der einfachste Weg die Stellen, an denen Clumps entstehen sollen, zu definieren, ist über einzelne Haare. Dazu werden aus dem Standard-Zweig (Import Node – Scatter Node – Grow Node) die letzten beiden Nodes kopiert und an die bereits vorhandene Import Node angeschlossen. Die beiden identischen Zweige werden mit einer neuen Clumping Node verbunden und die Dichte der Scatter Node verringert, um Clumps zu erstellen. Je kleiner der Wert dabei ist, desto weniger und größere Clumps werden erzeugt, während ein

Wert näher am Original immer mehr Clumps erzeugt, die umso kleiner sind. Dieser Ansatz ist zwar prozedural und schnell aufzusetzen, bietet aber nicht sehr viel Kontrolle. Die zugehörige Knotenanordnung im Graph-Editor ist in **Abbildung 16** dargestellt.

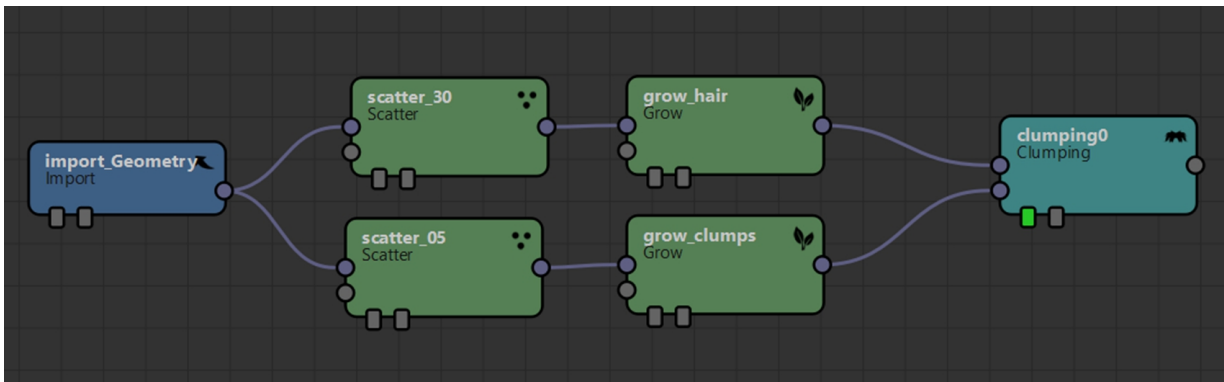


Abbildung 16: Nodes zur Erstellung eines prozeduralen Clumpings

Daher gibt es auch noch andere Wege das Clumping zu erzeugen, zum Beispiel über eine Groom Node als zweiten Input der Clumping Node.

Auf diesem Weg werden die Clumps nicht zufällig über das ganze Objekt verteilt, sondern entstehen genau dort, wo in der Grooming Node Guides platziert wurden. Es wird eine Convert Node benötigt, da eine Clumping Node eigentlich im zweiten Input ein weiteres Haarsystem erwartet. Durch die Convert Node werden die Guides der Groom Node anerkannt und an die Clumping Node weiter gegeben.

In den **Abbildung 16** und **17** sind die einfachsten Varianten dieser beiden Möglichkeiten in ihrer Darstellung über den Graph Editor zu sehen. Meist wird jedoch ein sehr viel komplizierteres Setup benötigt. So ist in beiden Darstellungen nun noch keine Auswirkung einer Groom-Node auf die Formgebung der Haare vorhanden und jeweils nur eine Clumping Ebene.

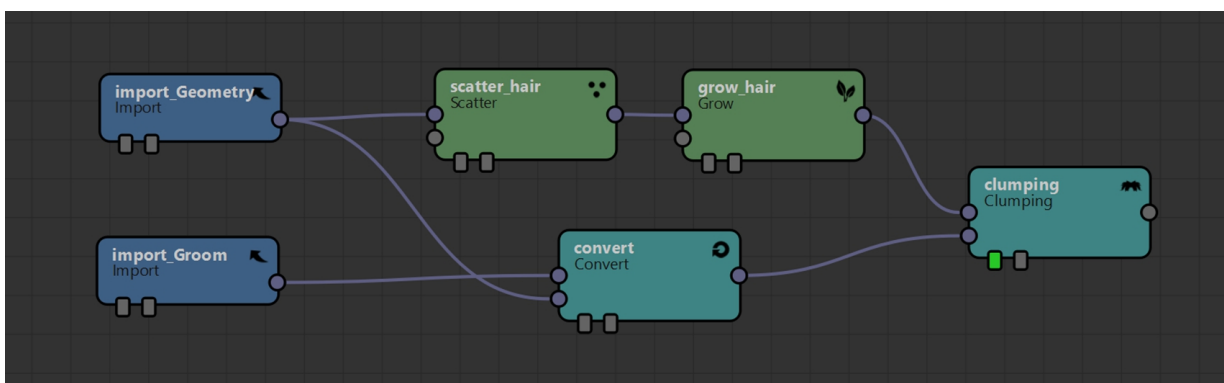


Abbildung 17: Nodes zur Erstellung eines Clumpings, das über eine Groom Node gesteuert wird.

Für das Erzeugen von mehreren Clumping Ebenen kann auch eine Mischung aus beiden Versionen verwendet werden. Sinnvoll ist es zum Beispiel bei der ersten Ebene, mit den größten Clumps, den Ansatz über eine Groom Node zu wählen und in der zweiten Instanz, bei den sehr viel kleineren Clumps, prozedural vorzugehen. Der Aufbau dieser Nodes ist in **Abbildung 18** zu sehen.

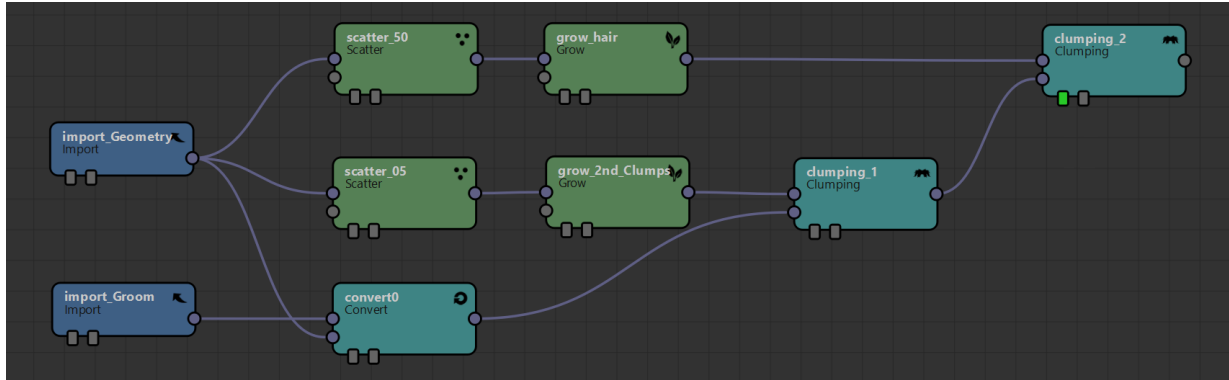


Abbildung 18: Zwei Clumping Ebenen, die erste wird über eine Groom-Node gesteuert, die zweite über ein zweites Haarsystem.

Soll aber über alle Clumping Ebenen die volle Kontrolle gewährt werden, wird für jede Ebene auch eine eigene Groom Node benötigt.

Eine weitere Möglichkeit um Clumping zu erzeugen, ist über ein Clumping Attribut in der Groom Node. Diese Variante bietet wohl am meisten Kontrolle, da sie nicht nur über die Einstellungsmöglichkeiten einer Groom Node verfügt, sondern auch die Möglichkeit bietet eine Maske zu malen, welche die Stärke des Clumpings individuell regional variiert.

Diese nochmalige Verbesserung zieht wiederum eine steigende Komplexität mit sich. So muss in der Groom Node ein Attribut namens „clumping“ erstellt und dieser Name auch in eine neu erzeugte Attribute Node übertragen werden. Die Groom Node muss wieder mit dem zweiten Input der Clumping Node verbunden werden, doch da diese an sich ja nicht gelesen werden kann, muss noch eine Convert Node dazwischen eingefügt werden. Schlussendlich muss in der Clumping Node die Gewichtung auf das Attribut eingestellt werden, damit das Clumping auf Basis der gemalten Maske des Attributs erstellt wird.

Der Aufbau der Nodes dazu findet sich in **Abbildung 19**.

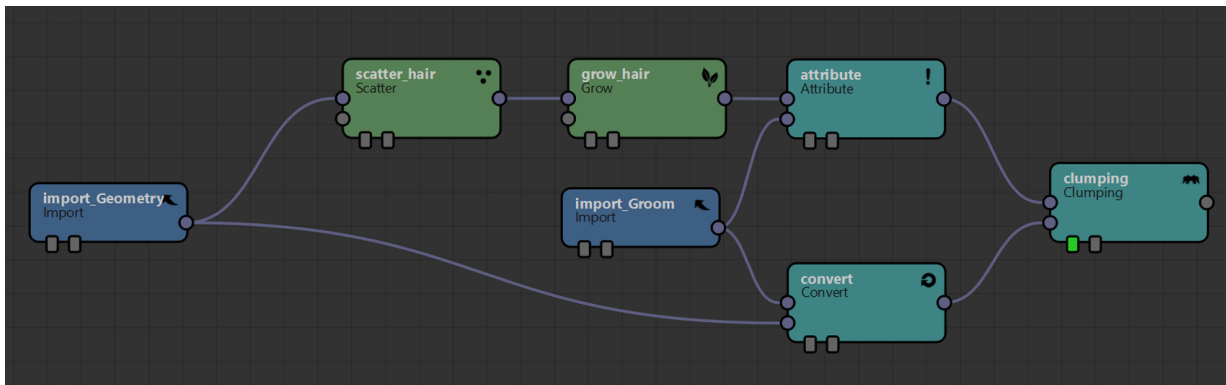


Abbildung 19: Clumping mithilfe eines Attributs

Es zeigt sich also, dass in Yeti der gewünschte Look auf viele verschiedene Arten und Weisen erreicht werden kann. Durch das Node basierte System können zwar sehr vielschichtige Haare erstellt werden, allerdings wird die Anordnung der Nodes dabei schnell immer komplexer. Gerade deshalb ist es besonders wichtig seine Nodes stets sinnvoll zu benennen und zu arrangieren.

4.2 Shading

Um Haare, die mit Yeti erzeugt wurden, rendern zu können, muss zunächst die Anbindung des Plugins an den jeweiligen Renderer gewährleistet werden. Da jeder Renderer etwas anders an Maya angebunden ist, variieren die Anforderungen von Yeti an deren Aufsetzen sehr stark. Unterstützt werden 3Delight Studio Pro, Renderman, Chaos Group V-Ray, Solid Angle's Arnold und Redshift 3D. Je nachdem welcher Renderer zum Einsatz kommen soll, müssen verschiedene Umgebungsvariablen aufgesetzt werden.

Um mit Solid Angle's Arnold rendern zu können, muss beispielsweise die Umgebungsvariable „MTOA_EXTENSIONS_PATH“ in den Plugin Ordner der Yeti-Installation führen, sowie in den Render Settings in Maya bei Arnold für den „Procedural Search Path“ der Pfad des „bin“ Ordners von Yeti angegeben sein.

Danach ist es möglich die Haare mit Arnold zu rendern. Falls diese seltsam aussehen, kann das daran liegen, dass die Haardichte für den Renderer standardmäßig auf einen Wert von 10 gestellt ist, die Viewport Dichte dagegen auf einen Wert von 1. Um die gleiche Anzahl an Haaren zu rendern, wie im Viewport zu sehen ist, müssen die beiden Werte aneinander angepasst werden.

Den Shader muss schlussendlich nur noch auf die Yeti Node angewendet werden. Eine Änderung im Viewport wird deshalb aber nicht zu sehen sein. Die Einstellungen für den al-Shader funktionieren nun

genau so wie im Kapitel „3.2 Shading“ beschrieben, mit dem Vorteil, dass die Curve-IDs für die natürliche Variation der Haarfarbe mit dem al-Shader automatisch von Yeti mitgegeben werden.

Wenn eine Textur auf die Haare gelegt werden soll, gilt es zu beachten, dass die Textur zunächst auf jedes Haar einzeln projiziert wird und nicht als Ganzes über alle Haare verteilt. In den meisten Fällen ist es aber gewünscht die Farbe der Haare regional über das Objekt verteilt zu ändern und nicht über die Länge jedes Haars. Um dies zu erreichen, müssen zwei AiUserDataFloat Nodes mit dem Namen „surf_s“ und „surf_t“ im Hypershade erstellt werden (so heißen in Yeti die UV-Koordinaten) und mit den UV-Koordinaten der File Node verbunden werden.

4.3 Simulation

Die Simulation in Yeti wird in der Groom Node aktiviert und gesteuert. Dort muss zunächst lediglich die Simulation aktiviert werden. Anschließend können diverse Einstellungen zur Gravitation und dem Verhalten der Haare vorgenommen werden. Außerdem lassen sich Kollisionsobjekte und Fields – in Maya erzeugte Kräfte – hinzufügen.

Voraussetzung der Simulation von Haaren auf einem bewegten Objekt in Yeti ist allerdings immer ein „Texture Referenz Object“ zu erstellen, damit Yeti auch in der Bewegung noch weiß, wo die Haare verwurzelt sind.

Die erste Anpassung, die in Yeti vorgenommen werden sollte, ist das Verhältnis von Skalierung und Gravitation anzupassen. Der Standard Wert für eine reale Gravitation einer korrekt skalierten Szene beträgt 98. Je nachdem ob das Objekt nun kleiner oder größer als in der Realität dargestellt wurde, muss dieser Wert angepasst werden.

Außerdem empfiehlt es sich die Iterationen zu erhöhen, denn je mehr Berechnungen für einen Frame durchgeführt werden, desto genauer wird das Ergebnis. Für reine Vorschauzwecke reicht allerdings auch ein geringer Wert.

Anschließend kann das Gewicht der Haare bestimmt und die Steifheit der Haare allgemein oder nach Haarspitze zu Haarwurzel Verhältnis eingestellt werden. Masse und Steifheit lassen sich auch über die Attribute „sim_mass“ und „sim_stiffness“ mit einer Map steuern, was sehr nützlich sein kann, um einzelne Teile des Grooms unterschiedlich zu behandeln.

Falls die Simulation dann über die Zeit qualitativ sehr unterschiedlich ausfällt, besteht auch die Möglichkeit alle Eigenschaften zu keyen, um so einzelne schlechte Stellen der Simulation abzuändern.

Auch Corrective Grooming ist eine recht einfach zu bewerkstelligende Option. Es muss lediglich in der Yeti Node ein Corrective Groom hinzugefügt werden, wodurch eine weitere Groom Node erzeugt wird. Diese

kann nach den eigenen Vorstellungen angepasst und anschließend ein- und ausgeblendet werden.

Mit diesen wenigen Einstellungen lässt sich bereits recht unkompliziert eine gute Simulation erstellen. Daher ist die Yeti interne Simulation für die meisten Szenen sehr zu empfehlen. Werden mehr Möglichkeiten benötigt, ist es durchaus möglich, Yeti mit einem nHair-System wie bei XGen zu verbinden. Dies ist recht kompliziert aufzusetzen, weshalb es sich gerade für Anfänger empfiehlt bei der Yeti internen Simulation zu bleiben.

5 Vergleich

Nun, da ein grundlegender Einblick in beide Programme geschaffen wurde, werden XGen und Yeti auf die untersuchten Punkte hin verglichen. Außerdem werden weitere Themen zur Sprache gebracht, die bisher noch nicht behandelt wurden.

5.1 Workflow

Der grundsätzlich größte Unterschied zwischen den beiden Applikationen ist, dass Yeti Node basiert arbeitet, XGen dagegen nicht. Generell ist dies kein Vorteil für das eine oder andere Programm, sondern spricht eher persönliche Präferenzen verschiedener Nutzer an. So wird jemand, der in Maya viel mit dem Node Editor oder Hypershade arbeitet, über den ähnlichen Arbeitsablauf in Yeti froh sein. Ein Verwender, der sich dagegen hauptsächlich mit Modeling und Sculpting beschäftigt, wird wahrscheinlich XGen einfacher zu handhaben finden.

Beide Systeme weisen ihnen eigene Vor- und Nachteile auf, die im Folgenden erarbeitet werden.

Einer der größten Unterschiede zwischen den beiden Plugins ist die Art des Einstiegs.

Während in Yeti immer gleich begonnen wird, um sich Haare zu erstellen, stellt sich bei XGen die Frage welche Art Haar erstellt werden soll und welcher Workflow am besten dafür geeignet ist. Dies erfordert Planung und bereits ein gewisses Grundwissen über das Programm.

Dieser einheitliche Workflow ist zunächst ein großer Vorteil für Yeti. Hier kann nach dem standardisierten Einstieg im Laufe des Grooming Prozesses immer noch auf verschiedene Techniken zurückgegriffen werden. Dies birgt enorm viel Potential, da alle Nodes in einer extremen Anzahl an Möglichkeiten miteinander kombinierbar sind.

In XGen dagegen ist der Lernprozess nach dem Benutzen eines Workflows erst am Anfang, da alle Workflows sehr unterschiedlich sind.

Allerdings birgt das Aufteilen der Workflows in XGen auch ein gewisse Präzision. Einstellungen, die in Yeti kompliziert über mehrere Nodes und dem Aufbringen von komplexen Programmierfähigkeiten gelöst werden, sind hier oft als simple Regler vorhanden.

In Yeti müssen diese Methoden zunächst bewusst werden, damit sie umsetzbar sind. Sind die Grundprinzipien jedoch verstanden, lassen sich in Yeti viele Effekte ohne Hilfe von außen erschließen.

So lässt sich nicht einfach erfassen welches Programm für Anfänger geeigneter ist. Während es bei Yeti

einfacher ist direkt einzusteigen und die ersten Haare zu erstellen, tut sich ziemlich schnell die Hürde auf, tieferen Einblick in Yetis Node-System zu bekommen. Ist diese überwunden, lässt sich mit Yeti recht unkompliziert arbeiten.

In XGen dagegen wird zu Anfang viel Zeit benötigt, bis ein Einblick in alle Workflows vorhanden ist. Dies kann Einsteiger schnell frustrieren, doch auch hier gilt: Ist der Einstieg erst geschafft, wird der Umgang mit dem Plugin sehr viel angenehmer.

Insgesamt lässt sich sagen, dass beide Programme nicht besonders einsteigerfreundlich oder intuitiv sind. Während XGen strukturierter ist und alles genau aufteilt, aber eine zunächst überwältigende Masse an Möglichkeiten anbietet, wirkt Yeti offener und freier in der Benutzung. Welches System sich besser bedienen lässt, ist letztendlich eine Frage der persönlichen Präferenz.

5.2 Grooming

Grooming läuft in Yeti und XGen ähnlich ab.

Wird in XGen über Groomable Splines gearbeitet, gewährt dies Zugriff auf die Grooming Tools, die es so auch in ganz ähnlicher Form in Yeti gibt. Beide Varianten können zu einem gleich guten Ergebnis führen, wobei die Handhabung der Tools in XGen flüssiger wirkt. In Yeti wirken diese qualitativ nicht so gut wie in XGen, da es beim Kämmen der Haare sein kann, dass diese ungewollt abstehen. Außerdem muss immer eine Anbindung der aktuellen Schritte an den Node Graph Editor über zusätzliche Nodes gewährleistet werden, damit das Ergebnis zu sehen ist.

Auch der Workflow über Guides wirkt in XGen stimmiger als in Yeti. Es ist zwar möglich über Guides in Yeti zu arbeiten, aber so gibt es zum Beispiel keine direkte Anbindung für einen Tube Groom Arbeitsablauf, der gerade bei komplizierten Frisuren sinnvoll ist.

Allerdings ist es nicht zu unterschätzen, dass sich in Yeti die Workflows miteinander kombinieren lassen und somit die vollen Möglichkeiten verfügbar sind, während in XGen immer nur ein Workflow verfügbar ist.

Ein großer Vorteil von XGen ist dagegen das Erstellen von Masken für die meisten Einstellungsmöglichkeiten. Gerade beim Ansatz von Kopfhaar lässt sich hier exakt bestimmen, bis wohin die Haare wachsen.

In Yeti wird dies primär über die Platzierung der Kurven bestimmt, um die in einem gewissen Radius Haare erstellt werden. In Yeti lässt sich zwar auch für vieles ein Attribut erstellen oder eine Texture Node einbinden, allerdings ist dieser Vorgang sehr viel komplizierter als in XGen. In XGen sind die Masken durch das 3D Paint Tool zügig erstellt und gespeichert und erlauben es so mit minimalem Aufwand eine sehr große

Variation im Groom zu erzeugen.

Hinzufügbare Modifikationen, wie in XGen über Modifier und in Yeti über verschiedene Nodes, bieten viel Potential: In XGen hauptsächlich über die vielen Einstellungsmöglichkeiten, in Yeti dagegen mehr über Verbindungen mit anderen Nodes.

Folglich liegt XGen was Grooming angeht, gegenüber Yeti leicht in Führung. Während in Yeti zwar alles ebenso machbar ist, wie in XGen, ist der Weg dahin bei XGen meist einfacher und angenehmer zu erreichen.

5.3 Shading

Was Shading angeht, lassen sich keine großen Unterschiede in den beiden Applikationen feststellen, da das Shading primär vom Renderer und dem gewählten Shader abhängt. Es ist jedoch anzumerken, dass je nach dem, welcher Renderer verwendet wird, die Anbindung zu Yeti recht kompliziert einzurichten sein kann (siehe auch: Kapitel 4.2 Shading).

5.4 Simulation

Die Simulation der Haare gestaltet sich in beiden Plugins insofern sehr unterschiedlich, da in Yeti die Haare mit den internen Einstellungen gut simuliert werden können, in XGen jedoch nicht.

In XGen muss für eine vernünftige Haarsimulation auf Maya nHair zurückgegriffen werden. Dieses System bietet zwar Platz für sehr viele Möglichkeiten, ist aber auch gerade deswegen für einen Anfänger in der Simulation recht kompliziert zu verstehen. Für Personen, die mit diesem System bereits vertraut sind, kann sich das natürlich auch zum Vorteil auswirken.

Gerade durch die neuen Interactive Grooming Tools wird die Zusammenarbeit mit dem Maya nHair-System nochmals verbessert und somit immer einfacher. Die über die bisherigen XGen Modifier erreichbaren Simulationsmöglichkeiten wie Wind und Force bieten dagegen wegen ihrer Beschränktheit keine echte Alternative zum nHair-System an.

In Yeti bietet das native System sehr viel an. Es gibt zwar deutlich weniger Einstellungsmöglichkeiten als beim nHair-System, aber trotzdem noch alle Möglichkeiten, die für die meisten einfachen Haarsimulation benötigt werden. Dadurch wird der Prozess vereinfacht und die Simulation wirkt sehr viel kontrollierter.

Reichen diese Möglichkeiten nicht aus, kann Yeti trotzdem mit dem Maya nHair-System simuliert werden, wenngleich deren Anbindung sehr viel komplizierter abläuft, als in XGen.

Was Simulation angeht, ist somit Yeti einfacher zu bedienen, wobei XGen mit der Anbindung der neuen Interactive Grooming Tools an das nHair-System aufholt. Für Anfänger und einfache Szenen bleibt Yeti trotzdem sinnvoller.

5.5 Anbindung

Die Frage, welches Plugin besser an Maya angebunden ist, lässt sich sehr einfach beantworten.

Da XGen bereits gratis in Maya integriert ist, sollten hier keinerlei Probleme auftreten. Die Entwicklung und Benutzung durch Disney macht es darüber hinaus sehr wahrscheinlich, dass das Programm stetig weiter ausgebaut wird.

Yeti dagegen wartet nicht nur mit einer sehr komplizierten Installation auf, es ist außerdem notwendig, je nachdem welcher Renderer verwendet werden soll, eine weitere, ähnlich komplizierte Prozedur durchzumachen. Wer mit dem Aufsetzen solcher Plugins bereits vertraut ist, hat hier wahrscheinlich deutlich weniger Probleme. Für einen Anfänger ohne große Vorkenntnisse kann es allerdings sehr lange dauern, bis Yeti einwandfrei läuft.

5.6 Frustrationspotential

Ein definitiv nicht zu unterschätzender Punkt ist die Bewertung des Frustrationspotentials. Gerade bei XGen und Yeti ist dieses erheblich und sollte keinesfalls unterschätzt werden, wobei jedes Programm allerdings andere Probleme birgt.

Eine Besonderheit von XGen, die viel Kopfzerbrechen bereitet, ist, dass XGen bei jeder Erzeugung einer Collection oder Description auch eine eigene XGen Ordnerstruktur im aktuell gesetzten Ordner anlegt und auf diese beim Arbeiten zurückgreift. Das bedeutet, dass nach jedem Öffnen einer Szene das Projekt auf den richtigen Ordner gesetzt werden muss, sonst kann XGen nicht arbeiten. Auch Namensänderungen sind deshalb sehr risikoreich und sollten bereits zu Beginn final bestimmt und nicht mehr geändert werden.

Gerade beim Erstellen einer Testszene, werden dafür trotzdem die entsprechenden Ordner angelegt und diese verbleiben auch, wenn die Collection innerhalb Mayas gelöscht wird. Das bedeutet, dass jedes mal, wenn eine XGen Szene erstellt wurde, die nicht behalten werden soll, der XGen Ordner ausfindig gemacht werden muss und die überflüssigen Collections und Descriptions gelöscht werden sollten. Sonst kann es passieren, dass zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr klar ist, ob diese Ordner gelöscht werden dürfen

oder nicht.

Ein üblicher Anfängerfehler mit Groomable Splines ist außerdem nach dem Grooming die Dichte zu verändern ohne vorher einzustellen die neuen Splines interpolieren zu lassen. In diesem Fall verschwindet der gesamte Groom nämlich unwiederbringlich, insofern nicht gespeichert wurde. Dies ist allerdings eine Sache die sich einfach umgehen lässt.

Eine andere Sache, die bezüglich XGen zu beachten ist, ist die Objekte im Vorfeld relativ groß zu skalieren: Mindestens in Realgröße. Ansonsten werden nicht nur bei allen Reglern sehr extreme Werte nötig, sondern es kann auch zu unschönen Linien im Haar entlang des Mesh Verlaufes kommen.

In der Vergangenheit gab es auch immer wieder Bugs XGen betreffend. Vor allem die Groomable Splines scheinen recht regelmäßig von solchen betroffen, zum Beispiel gab es bis zuletzt einen Bug, der den kompletten Groom nach dem Öffnen der Szene nicht mehr angezeigt oder aber zur Unkenntlichkeit deformiert hat. Dieser durchaus häufig auftretende Bug wurde zwar inzwischen mit der Maya Version 2017 behoben, doch es tauchen auch immer wieder neue Programmfehler auf, die behoben werden müssen. Das Support Team von XGen ist jedoch in vielen Foren aktiv und hilft den betroffenen Personen weiter.

Leider lässt sich sagen, dass XGen durchaus öfters von Bugs betroffen ist und diese fatale Folgen haben können. Insgesamt wird XGen allerdings mit jedem Update stabiler.

Yeti dagegen bereitet ganz andere Probleme. Neben dem bereits erwähnten problematischen Aufsetzen des Programms, ist Yetis größte Schwierigkeit seine Stabilität. Es kann mit deutlich weniger Primitives flüssig umgehen als XGen und führt dadurch zu fehlenden Aktualisierungen und zu Abstürzen.

Soll eine Änderung in einer Node vorgenommen werden, empfiehlt es sich daher immer, die Vorschau nur bis zu dieser Node zu gewähren, da das Programm bei zu vielen Berechnungen im Viewport keine Änderung anzeigt.

Meistens treten in Yeti jedoch eher fehlende Reaktionen auf eine Aktion auf, als schwerwiegende Bugs, die einem die ganze Arbeit zerstören können. Trotzdem führt gerade die mangelhafte Stabilität und Kapazität Yetis zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Arbeitsablaufes und ergibt damit ein ähnlich hohes Frustrationspotential wie in XGen.

5.7 Weiterbildung

Für Anfänger ist mit Sicherheit einer der wichtigsten Punkte, wie einfach Hilfe und Weiterbildungsmöglichkeiten zu den beiden Plugins erreichbar sind.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass für beide Applikationen die Möglichkeiten recht überschaubar sind, da Haarerstellung eben doch ein sehr spezielles Thema ist. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit, im Internet passende Informationen zu finden, bei XGen sehr viel höher.

Für beide Programme ist der erste Anlaufpunkt die offizielle Dokumentation. Bei XGen [May16] wirkt diese etwas umfangreicher als in Yeti [Per10].

Eine sehr hilfreiche Sache in Yeti sind außerdem die exemplarischen Beispielszenen, die automatisch mit dem Programm mitgeliefert werden. Wurde der Sinn einer Node nicht verstanden, gibt es die Möglichkeit sich die entsprechende Szene zu öffnen und anzuschauen wie die Node funktioniert.

XGen dagegen bietet für solche Zwecke die „XGen presets“ an. Diese sind eine Bibliothek an beispielhaften Haararten, die genutzt werden können, um herauszufinden, wie ein bestimmter Look erreicht werden kann.

Was Tutorials sowohl in schriftlicher wie auch in Videoform angeht, ist XGen klar im Vorteil. Über Yeti finden sich hier nur wenige Tutorials und Weiterbildungsmöglichkeiten, bei XGen dagegen gibt es eine ganze Reihe an offiziellen, frei zugänglichen Tutorials von Autodesk und zusätzlich noch viele weitere Tutorials unabhängiger Personen, die im Internet hochgeladen wurden. Auch Forenbeiträge, die einem etwaige Fragen beantworten, sind hier sehr viel häufiger anzufinden, weshalb XGen in Sachen Weiterbildungsmöglichkeiten einen deutlichen Vorsprung gegenüber Yeti aufweist.

6 Zusammenfassung und Fazit

So lässt sich letztendlich festhalten, dass beide Applikationen sehr unterschiedliche Vor- und Nachteile haben. Yeti wirkt auf den ersten Blick übersichtlicher, da es nur einen grundsätzlichen Node basierten Workflow gibt, während XGen viele unterschiedliche Workflows anbietet. XGen erschwert den Arbeitseinstieg durch unterschiedliche Aspekte, die es zu lernen gilt, wohingegen der Arbeitsablauf in Yeti komplexer ist.

Was Grooming angeht, ist XGen etwas besser aufgestellt, da es bessere Grooming Tools hat und komplexe Workflows, wie den des Tube Grooms, recht einfach anbieten kann.

Allerdings macht Yeti dies wieder durch eine einfacher zu handhabende Simulation wett.

In der Anbindung an Maya hat XGen ganz klare Vorteile gegenüber Yeti, da es gratis in Maya integriert ist und regelmäßig aktualisiert und erweitert wird. Yeti liegt hier jedoch durch eine komplizierte Installation und Kostenpflicht deutlich zurück.

Einer der wichtigsten Punkte, den es als Anfänger bei der Entscheidung zwischen zwei Programmen zu beachten gilt, ist wie viele Probleme bei der jeweiligen Anwendung vermutlich auftreten werden. Während XGen zwar immer wieder in neuen Features schwerwiegende Programmfehler aufweist, aber diese durch Updates auch wieder ausmerzt, ist Yetis größtes Problem seine mangelnde Kapazität mit sehr vielen Haaren umzugehen.

Außerdem gibt es für Yeti kaum Weiterbildungsmöglichkeiten, wohingegen zu XGen sehr viel mehr Online-Hilfe vorhanden ist.

Schlussendlich hängt die Entscheidung für eine der beiden Anwendungen von persönlichen Präferenzen ab – gute und komplexe Ergebnisse lassen sich auf jeden Fall mit beiden Plugins erzielen. Die Frage, für welches Plugin sich ein Anfänger entscheiden soll, kann damit nicht eindeutig beantwortet werden.

Allerdings bietet XGen in der Gesamtheit der hier bearbeiteten Aspekte einen leichten Vorsprung an.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verschiedene behaarte Charaktere aus dem Disney Film „Zootopia“ [Lus16].....	3
Abbildung 2:	Unnatürlich lange Haare bei dem Disney Charakter Rapunzel [WKM10]	5
Abbildung 3:	Referenzbilder von verschiedenen Fellarten für den Film „Zootopia“ [Fai16]	6
Abbildung 4:	Schematische Darstellung von Clumping mit mehreren Ebenen [Tog14]	9
Abbildung 5:	a) Unterschied zwischen trockenen und nassen Haaren; b) Unbehandelte Haare und Haare behandelt mit Haarspray. [WGL04]	10
Abbildung 6:	a) Positionierte Guides; b) Interpolierte Haare zwischen den Guides; c) Clumping Modifier auf Basis der Guides hinzugefügt; d) Haarlinie durch Region Map hinzugefügt; e) Erste Clumpingebe; f) Zweite Clumpingebe; g) Noise; h) Ergebnis aus Clumping 1, Clumping 2 und Noise.....	16
Abbildung 7:	Eine Modifier Liste mit zwei Clumping Ebenen und einem Noise.....	18
Abbildung 8:	Code zur Generierung von abstehenden Haaren innerhalb eines Noise Modifiers. Haare die innerhalb des „Stray Hair“ Prozentsatzes liegen, bekommen einen Wert von 3 in der Frequency zugewiesen, die anderen Haare einen Wert von 1.....	19
Abbildung 9:	Tube Groom Prozess des Hauptcharakters Elsa in dem Disney Film „Frozen“ [SW14]	19
Abbildung 10:	a) & b) Röhren Geometrie; c) Aus den Röhren erstellte Guides, eingefärbt; d) Daraus erstellte Haare, eingefärbt; e) Interpolierungsfehler am Scheitel, entstanden durch Überlappungen der Röhren an der Kopfhaut; f) Korrigierter Haarscheitel.....	22

Abbildung 11:	a) Referenzbild; b) Aussehen des al-Shaders ohne jegliche Anpassungen; c) Ein Verlauf wurde auf die Haare gelegt, welche die Haarfarbe von Ansatz bis zu den Spitzen ändert; d) Resultat nach diversen Anpassungen [Cau16].	25
Abbildung 12:	Die Kurven 1 und 2 kollidieren mit der Geometrie und durchdringen sie deshalb nicht. Die zwischen ihnen interpolierten Splines dagegen geraten wieder in die Kollisionsgeometrie hinein.	29
Abbildung 13:	Verfügbare Nodes im Graph Editor.	31
Abbildung 14:	Grooming Tools (Anordnung zur besseren Ansicht verändert)	32
Abbildung 15:	Eine Kugel mit aktiver Visualisierung eines „part_“-Attributes.	33
Abbildung 16:	Nodes zur Erstellung eines prozeduralen Clumpings.	35
Abbildung 17:	Nodes zur Erstellung eines Clumpings, das über eine Groom Node gesteuert wird.	35
Abbildung 18:	Zwei Clumping Ebenen, die erste wird über eine Groom-Node gesteuert, die zweite über ein zweites Haarsystem.	36
Abbildung 19:	Clumping mithilfe eines Attributs.	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Haaranzahl von Charakteren aus computergenerierten Filmen	
	[Fai16] [SW14] [Tak13] [Sey12].....	4
Tabelle 2:	Haartextur bei Menschen verschiedener Herkunft	
	[Rob02, p.425].....	7

Quellenverzeichnis

- [BAQ05] Bertails, F., Audoly, B., Querleux, B., Leroy, F., L  v  que, J. & Cani, M. (2005). **Predicting Natural Hair Shapes by Solving the Statics of Flexible Rods**. Eurographics Short Papers
- [Bau14] Bauman, A., J. (12. Februar 2014). **How many hairs are there on the human head?** Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von: <https://baumanmedical.com/qa/many-hairs-human-head/>
- [Cau16] Cauchi, M. (18. Oktober 2016). **Beginners guide to: Grooming** [Web Log Eintrag]. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://www.mikecauchiart.com/single-post/2016/10/16/Beginners-guide-to-grooming-maya-2016>
- [Cha54] Chase, H. B. (1954). **Growth of the Hair**. Physiological Reviews, 34(1), 113-126
- [DR11] Dunayevich, R., Raz, K. (09. August 2011). **Walt Disney Pictures and Autodesk Sign XGen Technology License Agreement**. Autodesk News Release. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://investors.autodesk.com/phoenix.zhtml?c=117861&p=irol-newsArticle&ID=1594613>
- [Fai16] Failes, I. (10. M  rz, 2016). **The fur-reaching tech of Zootopia**. Fxguide. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von: <https://www.fxguide.com/featured/the-fur-reaching-tech-of-zootopia/>
- [Gui04] Guinness World Records (08. Mai 2004). **Longest head hair (female)**. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von: [http://www.guinnessworldrecords.de/world-records/longest-hair-\(female\)](http://www.guinnessworldrecords.de/world-records/longest-hair-(female))
- [Joh72] Johnson, E. (1972). **Moulting Cycles**. Mammal Review, 1, 198-208.
DOI: 10.1111/j.1365-2907.1972.tb00091.x Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2907.1972.tb00091.x/abstract>
- [Lan15] Langlands, A. (2015) **ALSHADERS**. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://www.anderslanglands.com/alshaders/index.html>
- [LLA96] Lee, W.S., Lee, I.W. & Ahn, S.K. (1996). **Diffuse heterochromia of scalp hair**. Journal of the American Academy of Dermatology, 35, 823–825. DOI: 10.1016/S0190-9622(96)90093-6 Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von: [http://www.jaad.org/article/S0190-9622\(96\)90093-6/abstract](http://www.jaad.org/article/S0190-9622(96)90093-6/abstract)
- [Lus16] Lussier, G. (29. Februar 2016). **One Animal in Zootopia Has More Individual Hairs Than Every Character in Frozen Combined** [Web Log Eintrag]. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://io9.gizmodo.com/one-animal-in-zootopia-has-more-individual-hairs-than-e-1761542252>

- [May16] Maya User Guide (2016). **XGen Geometry Instancer**. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-C6324505-BD4F-4FD2-B340-CF99158D4819-htm.html>
- [Per10] Peregrine Labs (2010) **Yeti v2.1 Documentation**. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://documentation.peregrinelabs.com/yeti/>
- [Ran08] Randall, V. A. (2008). **Androgens and hair growth**. Dermatologic Therapy, 21(5), 314-328
 DOI: 10.1111/j.1529-8019.2008.00214.x Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1529-8019.2008.00214.x/full>
- [RKN12] Rungjiratananon, W., Kanamori, Y., Nishita, T. (2012). **Wetting Effects in Hair Simulation**. Computer Graphics forum, 31(7), 1993-2002. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2012.03191.x
- [Rob02] Robbins, C. R. (2002). **Chemical and Physical Behavior of Human Hair - Fourth Edition**. New York: Springer.
- [Sey12] Seymour, M. (21. Juni 2012). **Brave New Hair**. Fxguide. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<https://www.fxguide.com/featured/brave-new-hair/>
- [SP01] Stenn, K. S., & Paus, R. (2001). **Controls of Hair Follicle Cycling**. Physiological Reviews, 81(1), 449-494.
 Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von: <http://physrev.physiology.org/content/81/1/449>
- [SWP05] Slominski, A., Wortsman, J., Plonka, P., M., Schallreuter, K. U., Paus, R., Tobin, D. J. (2005). **Hair Follicle Pigmentation**. Journal of Investigative Dermatology, 124(1): 13-21.
 DOI: 10.1111/j.0022-202X.2004.23528.x
- [SW14] Simmons, M., Whited, B. (2014) **Disney's Hair Pipeline: Crafting Hair Styles From Design to Motion**. Eurographics 2014 Industrial Presentation. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
- [Tak13] Takahashi, D. (24. April 2013). **Creating a creature with 5.5M pieces of animated hair in Pixar's Monsters University (interview)** [Web Log Eintrag]. Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://venturebeat.com/2013/04/24/the-insiders-view-of-the-tech-behind-pixars-monsters-university-interview/>
- [Tog14] Toghyani R. (08. September 2014). **How to create realistic 3D hair and fur** [Web Log Eintrag].
 Abgerufen zuletzt am 21.02.2017 von:
<http://www.creativebloq.com/3d/how-create-realistic-3d-hair-and-fur-91412900>

- [WGL04] Ward, K., Galoppo, N., Lin, M. C. (2004). **Modeling Hair Influenced by Water and Styling Products.** International Conference on Computer Animation and Social Agents.
- [WKM10] Ward, K., Simmons, M., Milne, A., Yosumi, H., Zhao, X. (2010). **Simulating Rapunzel's Hair in Disney's Tangled.** SIGGRAPH 2010 ACM SIGGRAPH 2010 Talks. DOI:10.1145/1837026.1837055